ÜBER DIE NATUR DER RESERVECELLULOSE UND ÜBER IHRE AUFLÖSUNGSWEISE BEI DER KEIMUNG DER SAMEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT ERLANGEN

VORGELEGT VON

RUDOLF REISS

APPROB. APOTHEKER AUS MANNHEIM.

MIT EINER TAFEL.

BERLIN

DRUCK VON GEBR. UNGER (TH. GRIMM).

1889.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545819_0154

Wenn wir von den wenigen nackten Zellen, welche sich im Pflanzenreich finden, absehen, so sind die pflanzlichen Zellen namentlich gegenüber den thierischen dadurch charakterisirt, dass sie sich mit einer Zellhaut umkleiden. Da diese im Vergleich zu der Mächtigkeit des Plasmas in den meisten Fällen ausserordentlich dick ist, so sind die Wände es wesentlich, welche uns das charakteristische Bild der Gewebe liefern in den Organen der höheren Pflanzen. Kein Wunder, dass schon frühzeitig die Zellwände das Interesse des Beobachters fesselten. Verdanken wir doch sogar den Namen Zelle nur dem Eindruck, welchen das Zellwandgerüst auf den Beschauer hervorrief, der in dem Zellenbau der Bienenwabe das passendste Gleichniss erblickte. Es beginnt demnach die Anatomie nicht mit dem Studium der eigentlichen Zelle, dem lebendigen Plasmaleib, sondern mit dem todten Gerüste, der Zellwand, die sich zu jenem verhält, wie das Schneckenhaus zur Schnecke. Zunächst waren es natürlich die rein morphologischen Thatsachen, welche die Aufmerksamkeit auf die Zellwand hinlenkten. Man studirte die Form der Zellen und ihre Anordnung zu Geweben. Man lernte bald mit Hülfe des Mikroskops die morphologischen Veränderungen der einzelnen Zellwand kennen, wie die Streifen und Schichtenbildung, die verschiedenartigen Verdickungsformen u. s. w.

Es konnte der Beobachtung nicht entgehen, dass mit der Verdickung der Zellwand auch in ihrem Aussehen Veränderungen eintraten, die auf chemische Umwandlung schliessen liessen. Unter Anwendung von Reagentien lernte man kennen, dass die ursprünglich dünne Membran aus Cellulose besteht, dass sie diesen Charakter noch während des Dickenwachsthums behält, um ihn alsdann durch Einlagerung anderer Körper, durch Auftreten von „Inkrustationen“ zu verlieren. Schon diese Bezeichnung deutet darauf hin, dass man von der Vorstellung beherrscht wurde, dass die Grundlage aller Zellwände, auch wenn sie chemisch und physikalisch verändert erscheinen, immer in der einen und unveränderlichen Substanz, welche man eben als Zellstoff bezeichnete, gesucht werden müsse. Verholzte, verkieselte, verkorkte Zellwände hätte man sich

demgemäss als Substanzgemische vorzustellen, in welchen ein Gerüst von Zellstoffmolekülen von den Molekülen der inkrustirenden Substanzen durchsetzt wird[1]). Als Erkennungsmittel für die Beschaffenheit der Membranen benutzt man die mikrochemischen Reaktionen. So wichtig dieselben nun auch für die mikroskopische Praxis geworden sind, so haben sie doch die Gefahr mit sich gebracht, dass man sie nicht nur als Hülfsmittel zur Unterscheidung benutzte, sondern vielfach glaubte, chemische Individuen dadurch charakterisirt zu haben. Hier mag nur an die verschiedenen Gerbstoffreagentien erinnert sein. Auch die Schlussfolgerung, dass Dextrose vorliege, wenn man mit FEHLING'scher Lösung eine Reduktion erhält, mag in vielen Fällen zutreffen, ist jedoch immer unberechtigt, falls nicht auf anderem Wege die Existenz der Dextrose erwiesen ist. Denn die Reduktion des Kupferoxyds zu Kupferoxydul ist nicht eine ausschliesslich der Dextrose zukommende Eigenthümlichkeit. In einer ähnlichen Lage befinden wir uns auch mit der Cellulose. Mikrochemisch wird Alles als Cellulose angesehen, was sich mit Jod und Schwefelsäure oder Chlorzinkjod blau färbt und in Kupferoxydammoniak löslich ist. Die makrochemische Untersuchung hat nämlich gezeigt, dass die Hauptmasse der Baumwolle aus Cellulose besteht, und da diese mit den eben angeführten Reagentien die betreffenden Reaktionen giebt, so spricht man überall dort von Cellulose, wo die Membranen sich mit Jod und Schwefelsäure oder Chlorzinkjod blau färben und von Kupferoxydammoniak gelöst werden. Man übersieht dabei, dass ja diese Reaktionen auch andern Körpern zukommen können und desshalb wäre man erst berechtigt von Cellulose zu sprechen, wenn man ihre Anwesenheit makrochemisch nachgewiesen hätte. Freilich fehlt es nicht an Anzeichen, dass die sogenannten Cellulosehäutchen nicht immer absolut gleiche Zusammensetzung haben, denn manchmal tritt die Blaufärbung mit Jodreagentien verschieden schnell ein und bei Anwendung verschiedener Konzentrationen derselben. Dies kann von einer Differenz in der Beschaffenheit der Cellulose oder von Beimengungen herrühren. Immerhin bewies dies noch nichts gegen die Annahme, dass die Grundlage aller Membranen ein Cellulosehäutchen sei. Vielmehr musste die Thatsache, dass auch aus den mit Inkrustation versehenen Zellwänden, z. B. dem Holz, eine Cellulosegrundlage erhalten werden kann, für jene Ansicht sprechen. Und das gleiche Verhalten der verkorkten Membranen ist sogar ein Einwand gegen den WISSELINGH'schen Aufbau der Korkmembran ohne Cellulose. Indem man also den Gedanken aussprach, dass alle Zellhäute entweder Zeitlebens oder in einem gewissen Zeitabschnitt Cellulosehäutchen gewesen sind, fasste man eigentlich weniger die physiologisch-chemischen Gesichtspunkte als die morphologischen in das Auge.

Aber mit der Zeit lassen sich auch die ersteren nicht umgehen, wenn es sich darum handelt eine scharf definirte Vorstellung nicht nur über den Modus des Aufbaues der Membran zu erhalten, sondern auch über die Stoffmetamorphosen, welche zur Ablagerung der Membran führen. Eine genaue

---

1) Ganz anderer Meinung in Bezug auf die Gegenwart von Cellulose in der Korksubstanz ist WISSELINGH. In seiner Arbeit: Sur la paroi des cellules subéreuses (Extrai des Archives Neerlandaises, T. XXII) Sep.-Abdr. pag. 30 sagt er: „Aussi je ne partage plus cette opinion généralement régnante parmi les botanistes: que la paroi cellulosique forme toujours le fondement de la paroi adulte des cellules végétales. WISSELINGH nimmt also an, dass die Korksubstanz gleich als solche gebildet wird und mit Cellulose überhaupt in keiner genetischen Beziehung steht.

Kenntniss der Cellulose in chemischer Beziehung ist unbedingt erforderlich. Auch darf man hoffen, den besten Aufschluss darüber, ob die Cellulosewandungen aus verschiedenen Körpern aufgebaut sind, zu erhalten, wenn man diejenige Cellulose, welche ein für alle Mal aus dem Stoffwechsel ausgeschieden ist, mit derjenigen vergleicht, welche nur zeitweilig aus ihm ausgeschieden ist, um später wieder in denselben aufgenommen zu werden. Es wird sich deshalb vor allen Dingen empfehlen, die in den Samen abgelagerte Reservecellulose auf ihre Natur zu untersuchen.

Wir verdanken den SACHS'schen Untersuchungen über den Keimungsprozess der Dattel[1]) die sicher festgestellte Thatsache, dass Cellulose als Reservestoff abgelagert wird, und zwar in Form von Verdickungsschichten der Endospermzellen. Keimt die Dattel, so werden diese Verdickungsschichten vollständig gelöst, während die primäre Membran erhalten bleibt, ein deutlicher Fingerzeig, dass stoffliche Verschiedenheiten zwischen den Verdickungsschichten und dieser statthaben müssen.

Auf eine analoge Erscheinung machte wenige Jahre später FRANK[2]) aufmerksam, indem er die physiologischen Vorgänge bei der Keimung der Samen von Tropaeolum, besonders mit Rücksicht auf die Auflösung der Wandverdickungen verfolgte. Auf Grund dieser und späterer Untersuchungen hat man aus rein physiologischem Prinzip heraus die in den dickwandigen Zellen des Endosperms und der Cotyledonen einer nicht unbeträchtlichen Reihe von Samen abgelagerte Cellulose als Reservecellulose unterschieden, obgleich nicht durch Keimungsversuche der Nachweis erbracht war, dass diese Cellulose thatsächlich Reservecellulose ist.

Ohne die Natur dieser Cellulose als Reservecellulose erkannt zu haben, wurden bereits von VOGEL und SCHLEIDEN[3]) Unterschiede in ihrem Verhalten nachgewiesen. Sie waren die Ersten, die an ruhenden Samen von Schotia latifolia und speciosa, Hymenaea Courbaril, Mucuna urens und einer anderen unbestimmten Art desselben Genus und bei Tamarindus indica die Beobachtung der Blaufärbung der Cotyledonarzellen mittelst Jod machten und für diese besondere Cellulosemodifikation den Namen Amyloid in Vorschlag brachten[4]). Durch das Studium der Keimung der Amyloid führenden Samen von Tropaeolum wies FRANK[5]) nach, dass das Amyloid auch als Reservestoff zu funktioniren vermag.

Für die mit Jod sich nicht bläuende Reservecellulose hat man dagegen bis jetzt an der Anschauung festgehalten, dass sie mit der gewöhnlichen nicht wieder in die Stoffwechselprozesse eintretenden Cellulose identisch sei, obwohl sich der Gedanke aufdrängen musste, dass mit der veränderten Funktion höchst wahrscheinlich auch eine tiefer greifende Veränderung der chemischen Natur

---

1) Bot. Zeitg. 1862.

2) PRINGSHEIM's Jahrbücher 1866—67, Bd. V.

3) POGGENDORF's Annal. 1839. Flora 1840 II, S. 738. Beiträge zur Botanik von M. J. SCHLEIDEN 1844 I, S. 168.

4) SCHLEIDEN's Amyloid muss streng von dem Amyloid der Chemiker unterschieden werden. Letzteres entsteht durch Behandlung der Cellulose (Baumwolle) mit konzentrirter Schwefelsäure. Vergl. SACHSSE, die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen. Leipzig 1877.

5) l. c.

Hand in Hand gehen dürfte. Diesen Gedanken durch exakte Untersuchungen zu begründen, bildet den Hauptzweck der folgenden Arbeit.

Die Verfolgung dieses Gedankens führte naturgemäss zu weiteren Fragestellungen, welche sich theils a priori ergaben, theils während der Arbeit sich aufdrängten. Zunächst konnte die Möglichkeit bestehen, dass mit bestimmten morphologischen Verhältnissen bestimmte Eigenschaften der Cellulose, in Besonderheit der Reservecellulose, zusammenfallen. Es wurde ja schon erwähnt, dass die letztere gewissen Samen eigenthümlich ist. Die Samen umschliessen aber neben dem Keimling häufig beträchtliche Mengen von Endosperm Es konnte also die Reservecellulose entweder in der Form der angeblich. reinen Cellulose auf verdicktes Endospermgewebe (wie etwa bei der Dattel), beschränkt sein, während der Reservestoff in Form von Amyloid den dickwandigen Zellen der Cotyledonen (wie etwa bei Tropaeolum), ausschliesslich zukommen konnte. Ferner musste die Frage erörtert werden, ob die die Keimpflanzen aufbauende Cellulose die gleichen Eigenschaften erkennen lässt, welche der Reservecellulose ihrer Samen zukommen. Sodann war zu untersuchen, ob die Reservecellulose in allen Fällen von wesentlich einheitlicher Natur sei, sofern nicht die durch Jod nachzuweisende Amyloidform vorliegt, welche Frage sich natürlich nicht nur durch die Erörterung des mikrochemischen Verhaltens endgültig entscheiden lassen kann.

Nach der rein morphologischen Seite hin erforderte die Art und Weise wie die Zellwandverdickungen in den Samen beim Keimungsprozesse gelöst werden, eine eingehende Untersuchung. Es musste sich dabei überdies die Frage entscheiden lassen, ob denn überall, wo dickwandiges Endosperm oder dickwandige Cotyledonen dem ruhenden Samen eigen sind, die Wandverdickungen sich als Speicherung der Reservecellulose darstellen. Sichere Angaben liegen darüber nicht vor, wenn diese Annahme auch ihre Vertreter findet. Jedenfalls ist es der berechtigste Gedanke, dass wie in dem einen Samen auch in anderen Samen die Verdickungsschichten gleich funktioniren. Aber vordem man diesen naheliegenden Gedanken prüfte, hat man es vorgezogen, in den starken Verdickungen der Endosperm- oder Cotyledonarzellwände Festigungseinrichtungen zu erblicken. Jedenfalls ist die MARLOTH'sche Arbeit[1]) „Ueber die mechanischen Schutzmittel der Samen gegen schädliche Einflüsse von aussen" durchaus von diesem Gedanken getragen. Als eins der hauptsächlichsten Ergebnisse seiner Untersuchung kann er aussprechen: „Fast alle Samen sind durch die Ausbildung dickwandiger Elemente (Schutzschicht), sei es in der Samenschale, im Pericarp oder im Eiweiss gegen schädliche Einflüsse von aussen geschützt"[2]). So sollen unter Anderem die dickwandigen Zellen der Cotyledonen von Tropaeolum denselben Zwecken dienen[3]). Neuerdings ist auch im gleichen Sinn von HEINRICHER[4]) auf die Zweckmässigkeit von Wandverdickungen in den Cotyledonen der Impatienssamen hingewiesen worden. Er tritt zwar in erster Linie dafür ein, „dass die Zellen des Embryo, insbesondere jene der Cotyledonen mächtige Wandverdickungen aufweisen, welche als Reservestoff dienen, bei der Keimung wieder aufgelöst und auf-

1) ENGLER's Jahrb. IV. 1883, S. 225—264.
2) l. c. S. 258.
3) l. c. S. 229.
4) Zur Biologie der Gattung Impatiens, Flora 1888. Sond.-Abdr.

gebraucht werden"; doch begnügt er sich nicht mit der Feststellung dieser physiologisch interessanten Thatsache, sondern er glaubt, dass allen Samen mit derartig ausgebildeten Embryonen eine relativ grosse Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Verletzungen in ungequollenem, trockenem Zustande zukomme[1]). Er weist insbesondere darauf hin, dass den Impatiensarten der DE CANDOLL'schen Gattung Balsamina (wozu auch Impatiens Balsamina L. gehört), die Festigkeit ihrer Samen insofern zu Gute kommt, „als sie dadurch weit weniger der Gefahr ausgesetzt sein dürften, Thieren, insbesondere Vögeln, zur Nahrung zu dienen". Diese Deutung wird schon dadurch hinfällig, dass die Samen der von ihm untersuchten Impatiens balsamina nach meiner Beobachtung bereits nach 24stündigem Liegen auf feuchtem Fliesspapier sichtlich aufquellen und sich dann mit Leichtigkeit zwischen den Fingern zerreiben lassen. Wie aber HEINRICHER selbst hervorhebt, lieben die Impatiensarten schattig *feuchte* Standorte. Es kann deshalb kaum angenommen werden, dass sie ihre harte Beschaffenheit lange bewahren. Uebrigens würde auch die Festigkeit der kleinen Samen von Impatiens Balsamina kein Schutzmittel gegen Vogelfrass bilden. Nicht gequollene Erbsen dürfen gewiss hart genannt werden, und doch dienen sie fast ausschliesslich unseren Zuchttauben zur Fütterung. Uebrigens weiss man ja auch, dass die Kropfbildung gerade körnerfressenden Vögeln eigen ist, wodurch sie befähigt sind, harte Samen für die Verdauung vorzubereiten. Zur Stütze seiner Ansicht führt jedoch HEINRICHER nichts an; es fehlt an jedem Versuche, dass thatsächlich diese Samen etwa unverdaut durch den Verdauungstraktus der Vögel hindurchgehen. Auf Grund der Leichtigkeit, mit welcher die Samen nach meinen Beobachtungen Wasser aufnehmen, ist es höchst wahrscheinlich, dass sie gegenüber der Thierwelt in den Wandverdickungen der Cotyledonen ein Schutzmittel *nicht* besitzen.

Alle solche Deutungen von Zweckmässigkeiten haben ihr sehr Bedenkliches, namentlich wenn sie sich auf blosse Vermuthungen beschränken. Ein Gewebe, das aus dickwandigen Elementen besteht, muss selbstverständlich fester sein als ein solches aus dünnwandigen; daraus folgt aber noch nicht, dass diese Dickwandigkeit der Selbstzweck ist, sondern sie kann die unvermeidliche Folge anderer Verhältnisse sein, was für die Zellwandverdickungen im Endosperm und den Cotyledonen zutreffen dürfte. Zweckmässigkeitsdeutungen haben immer den Mangel, dass sie nichts erklären, im günstigsten Falle eine Thatsache konstatiren; mindestens lassen sich auch für dieselbe Erscheinung verschiedene Zweckmässigkeitserklärungen geben. Will man die Wandverdickungen des Endosperms und der Cotyledonen zweckmässig erklären, so kann man auch annehmen, dass die Ablagerung der Kohlenhydrate deshalb in Form von Wandverdickungen geschieht, um auf einen kleinen Platz möglichst viel Material abzulagern. Aber solche Deutungen sind werthlos gegenüber der Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse und des Versuches einer kausalen Erklärung.

Vordem ich aber nach dieser kurzen Abschweifung auf meine eigentliche Untersuchung eingehe, die in zwei Haupttheile zerfallen wird, in einen rein botanischen, die morphologischen Verhältnisse der keimenden Samen berücksichtigenden und in einen physiologisch-chemischen, der über die chemische Natur der Reservecellulose Aufklärung geben wird, dürfte es angezeigt sein, sich kurz zu vergegenwärtigen, in welcher Weise sich unsere Kenntniss von der Cellulose entwickelt hat.

(1 l. c. S. 15.

Historisches.

Die Grund legenden Untersuchungen, welche zu der Ansicht geführt haben, dass alle pflanzlichen Zellmembranen aus derselben chemischen Verbindung, der Cellulose, von der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$ hervorgehen, sind im Jahre 1844 von PAYEN[1]) veröffentlicht worden. Derselbe Verfasser giebt auch die Blaufärbung mit Jod und Schwefelsäure als die charakteristische Reaktion auf reine Cellulose an. Die Allgemeingültigkeit der PAYEN'schen Angabe sollte zunächst die älteren Ansichten namentlich die von SCHLEIDEN vertretene Auffassung beseitigen. SCHLEIDEN[2]) hatte nämlich die Ansicht vertreten, die Pflanze bilde einen Grundstoff, welcher bezüglich seiner Elementarzusammensetzung derselbe bleibe, welcher aber durch unmerkliche Veränderungen und verschiedenen Gehalt an chemisch gebundenem Wasser, unendlich vieler Modifikationen fähig sei, unter denen der Membranstoff das höchste Glied der ganzen Reihe darstelle. Dabei unterschied er nach dem Verhalten zu Jod und Wasser drei Formen des membranbildenden Stoffes: 1. Cellulose, welche sich in reinem Zustande mit Jod nicht färben sollte, 2. Amyloid[3]), das sich mit Jod bläut und 3. Pflanzengallerte, die im Wasser stark quillt und sich nicht mit Jod färbt.

Die PAYEN'sche Ansicht wurde durch die sehr ausführlichen Untersuchungen von MULDER[4]) gestützt; auch er gelangte zu dem Resultate, dass die Membranen aller jugendlichen Organe aus Cellulose in nahezu reinem Zustande bestehen[5]). Einen thätigen Antheil an der Diskussion nahm auch H. VON MOHL. Bereits 1840 veröffentlichte derselbe seine Beobachtungen „Ueber die blaue Färbung der vegetabilischen Zellmembran durch Jod“[6]). Er bezweckte mit dieser Arbeit zu zeigen, dass alle Membranen durch Jod gefärbt werden, doch so, dass sehr verschiedene Farben je nach der Menge des aufgenommenen Jods resultiren. Eine geringe Menge von Jod erzeuge eine gelbe oder braune, eine grössere Menge eine violette und eine noch bedeutendere Menge eine blaue Farbe. Die Farbe, welche die Zellmembran mit Jod annimmt, sollte aber nicht bloss von der Menge des Jods, welche man auf die Membran einwirken lässt, sondern auch von der Beschaffenheit der Membran selbst abhängen, und zwar in der Weise, dass sich die weicheren und zäheren in Wasser stärker anschwellenden Membranen entweder sogleich oder wenigstens nach dem Austrocknen und abermaliger Benetzung violett oder blau färben, während die härteren, spröderen und in Wasser weniger aufquellenden Membranen sich mit Jod gelb oder braun färben und nach dem Austrocknen und wieder Aufweichen nur dann eine blaue Farbe zeigen, wenn eine grosse Menge von Jod auf sie eingewirkt hatte. MOHL bekämpfte also SCHLEIDEN auch in dem Punkte, in welchem er zweifellos Recht hatte; MOHL ist nicht geneigt in dem SCHLEIDEN'schen Amyloid von Schotia eine besondere Form der Cellulose zu erblicken. MOHL's Arbeit bezieht sich auf eine grosse Reihe

---

1) Mémoires sur les développements des végétaux.

2) Grundzüge der wissensch. Botanik III. 3. Aufl. 1, 1844, S. 172.

3) Vergl. S. 713.

4) Versuch einer physiolog. Chemie 1844—1851, Braunschweig.

5) Nach MULDER hat die Cellulose die Zusammensetzung $C_{24}H_{42}O_{21}$. Vergl. auch die Angaben in H. v. MOHL's Grundzüge der Anatomie und Physiologie der vegetab. Zelle 1851.

6) Flora 1840.

von Samen, deren Untersuchung auch für meine Arbeit werthvoll geworden ist[1]).

Uebrigens schliesst sich MOHL auch noch in dem späteren Aufsatze: „Bildet die Cellulose die Grundlage sämmtlicher vegetabilischer Membranen?“[2]), der PAYEN'schen Einheitstheorie für die Cellulose an, indem er diejenigen Fälle, in welchen die bekannte Blaufärbung der Cellulose erschwert oder unmöglich gemacht ist, auf die Einlagerung der „inkrustirenden“ Substanzen schiebt[3]).

Nachdem der einheitliche Standpunkt kaum ein Jahrzehnt festgehalten worden war, drängte die Gewalt der Thatsachen wieder auf Spaltungen des Begriffs der Cellulose hin. Wir begegnen denselben in NÄGELI's Arbeit: „Ueber die chemische Zusammensetzung der Stärkekörner“[4]). NÄGELI lässt den Unterschied von Stärke und Cellulose gänzlich fallen und sieht in den Stärkekörnern und den Zellmembranen Kombinationen verschiedener Kohlenhydrate, welche aber durchweg nur mikrochemisch charakterisirt werden. Das Verhalten gegen Jod ist auch hier das wesentliche Kriterium. Amyloid ist beispielsweise das durch wässrige Jodlösung indigoblau oder rein violett gefärbte Kohlenhydrat, zu dessen blauer Modifikation fast alle Stärkekörner in den Pflanzen, die Cotyledonarzellen von einigen Papilionaceen (Schotia, Hymenaea, Mucuna, Tamarindus), die Albumenzellen von einigen Portulaccaceen und Caryophylleen (Calandrinia, Anychia) etc. gehören. Zur violetten Modifikation des Amyloids gehören vereinzelte Stärkekörner im Mark von Chelidonium (auch einiger anderer Pflanzen), die Zellen des Sameneiweisses von einigen Irideen (Ixia, Gladiolus), Liliaceen, Smilaceen und Hydrophylleen, sowie das innere Gewebe einiger Florideen etc.

Blaue und violette Farben in schmutzigen Tönen bilden den Uebergang vom Amyloid zu der als Mesamylin bezeichneten Modifikation, die Albumenzellen von Irideen (Iris Güldenstedtiana), Liliaceen (darunter Asparagus davuricus und maritimus), Smilaceen, Melanthaceen, Amaryllideen, Primulaceen (darunter Cyclamen, Primula und Androsace), Myrsineen und die Cotyledonarzellen von Tropaeolum.

Die Mehrzahl der Pflanzenmembranen färbt sich durch wässrige Jodlösung entweder gar nicht oder gelblich bis gelbbraun und darauthin bezeichnet NÄGELI diesen Stoff als Mesamylin.

Endlich wird noch ein Disamylin unterschieden, welches durch wässrige Jodlösung entweder gar nicht oder gelb bis intensiv goldgelb und braungelb gefärbt wird. Es bildet — von anderen Fällen abgesehen — die Albumenzellen von Palmen, Rubiaceen (Galium, Coffea), Loganiaceen (Strychnos) und anderen Mono- und Dicotyledonen.

Wenn nun auch diese Unterscheidung schon aus den in unserer Einleitung entwickelten Gesichtspunkten den macrochemischen Verhältnissen nicht Rechnung trägt, was NÄGELI sich selbst nicht verhehlte, wenn er bemerkt, dass Amyloid, Mesamylin und Disamylin nicht scharf getrennte Substanzen bezeichnen, sondern,

---

1) Unter Anderm bespricht MOHL die Blaufärbung der Zellmembranen der Cotyledonen in den ruhenden Samen von Tropaeolum majus, hybridus und minus.

2) Bot. Zeitung 1847, S. 497.

3) Man vergl. auch die MOHL'schen Ansichten in seinen „Grundzügen d. Anat. u. Physiologie der veget. Zelle“ 1851.

4) Vergl. Physiolog. Untersuchungen II. Heft „die Stärkekörner“ 1858, S. 209 u. f.

dass sie durch zahlreiche Uebergangsformen verbunden sind[1]), so beweist doch diese Differenzirung, dass die Einheitlichkeit des Cellulosebegriffes durch NÄGELI wieder in's Schwanken gerathen ist.

Fast gleichzeitig mit NÄGELI trat FREMY gegen die einheitliche Natur der Grundsubstanz aller Pflanzengewebe auf. In einer Reihe von Aufsätzen, welche im Jahre 1859 in den Comptes rendus der Pariser Akademie erschienen sind, unterschied er Cellulose-Gewebe, Pectose-Gewebe, Epidermal- oder Cuticular-Gewebe und Vascular-Gewebe. Er trat überdies bezüglich der Cellulose-Gewebe mit der Behauptung hervor, dass dieselben theils aus reiner Cellulose, theils aus Paracellulose, theils aus Fibrose beständen. Es bedarf hier keiner Widerlegung der FREMY'schen Ansichten, denn dieselben sind längst durch die Arbeit von KABSCH[2]) als völlig haltlos erwiesen worden. KABSCH tritt in gewissem Sinne für die einheitliche Zellsubstanz ein, denn er hält es a priori für mehr als wahrscheinlich, dass die Cellulose in verschiedenen Modifikationen in den Pflanzengeweben vertreten sei, doch charakterisirt er weder die reine Cellulose noch irgend eine ihrer Modifikationen, weil es sich für ihn eben nur um die Widerlegung der Ansichten FREMY's handelt, dessen reine Cellulose als diejenige Substanz definirt wird, welche in Kupferoxydammoniak unmittelbar löslich ist und welche die Baumwolle, die Rindenfaser oder das Perisperm von Phytelephas zusammensetzt"[3]). Für die Erörterung der Eigenschaften der Cellulose sind dagegen die darauf bezüglichen Mittheilungen von SACHS von besonderem Werthe. SACHS hat sich zwar nicht mit der chemischen Seite der Cellulosefrage beschäftigt, er weist vielmehr nur auf die verschiedene physiologische Funktion des Zellstoffs hin. Er knüpft an eine ältere Beobachtung von H. v. MOHL[4]) an, welcher spezieller die Keimungsgeschichte von Corypha frigida und Phoenix dactylifera verfolgte und im Texte ausdrücklich hervorhob, „omnes albuminis partes i. e. tam cellularum membranae, quam quae cellulis ipsis continentur, eadem ratione, qua embryo augescit, resorbentur."

SACHS ist dieser Idee näher getreten und behandelt in seiner Arbeit „Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern"[5]), in einem besonderen Abschnitte „Keime mit Zellstoff als Reservenahrung im Albumen". Er weist hierin auf die Keimungsgeschichte der Dattel und auf das Verhalten des hornigen Gewebes der Samen von Ceratonia siliqua hin. Auf den ersteren Gegenstand bezieht sich seine ausführliche Arbeit „Zur Keimungsgeschichte der Dattel[6]), auf welche wir im rein botanischen Theil dieser Abhandlung eingehen werden.

---

1) l. c. S. 212.

2) Untersuchungen über die chem. Beschaffenheit der Pflanzengewebe, mit Bezug auf die neuesten Arbeiten FREMY's über diesen Gegenstand. PRINGSHEIM's Jahrbücher III, 1863.

3) Vgl. KABSCH l. c. S. 370. Nach den Untersuchungen der neueren Morphologen handelt es sich in den Samen von Phytelephas nicht um Perisperm, sondern um Endosperm. In der älteren Literatur ist durchweg von Perisperm die Rede. Eigenthümlicher Weise schliessen sich auch neuere Werke dieser alten Auffassung noch an.

4) De palmarum structura S. XLIV. 1831.

5) PRINGSHEIM, Jahrb. III, Heft 2, 1862, S. 183 ff.

6) Die Keimung der Dattel wird übrigens auch von GRIS in seinen „Recherches anatomiques et physiologiques sur la germination (Annal. d. sc. nat. T. I, 1864) mehrfach erwähnt, doch geht Verfasser nicht über das Exzerpiren der SACHS'schen Mittheilungen hinaus.

Man vergl. auch NOBBE, Handb. d. Samenkunde 1876, S. 158. Eine von SCHMIDT gegebene Notiz über die Keimung der Dattel erschien 1881 in Nr. 51d. bot. Centralbl. Dieselbe bringt nichts Neues.

Was übrigens SACHS' Stellung zur chemischen Seite der Frage nach der Einheitlichkeit der Zellsubstanz betrifft, so findet man Aufschluss in seinem Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen (Leipig 1865). Auf S. 426 spricht sich der Verfasser dahin aus, dass man die von PAYEN und MOHL als Cellulose bezeichnete Substanz beibehalten müsse. Auch die mit kaltem Wasser auflösliche Substanz der Cotyledonen von Hymenaea Courbaril, Mucuna u. s. w. kann, nach ihm, „alsdann wohl als eine der Cellulose sehr nahe verwandte, durch Metamorphose aus ihr sich bildende Verbindung betrachtet werden."

Bei Weitem die wichtigste Arbeit über die in den Pflanzen vertretenen Formen der Cellulose ist die von FRANK veröffentlichte Abhandlung „Ueber die anatomische Bedeutung und die Entstehung der vegetabilischen Schleime" [1]). In dem vom Verfasser gegebenen Resumé wird ausdrücklich hervorgehoben, dass die Cellulose wie das Gummi als in zahlreichen Modifikationen vorhanden, betrachtet werden muss, so dass die Familie der Kohlenhydrate einen ähnlichen Reichthum an Isomerien aufzuweisen scheint, wie die gleichfalls vegetabilischen Kohlenwasserstoffe. Dementsprechend spielen die Cellulose und die Gummiarten in den Geweben des vegetabilischen Organismus die verschiedensten Rollen. Unter Anderem kann Cellulose wie Gummi bald als Bestandtheil der Zellwand, bald als Zellinhalt auftreten (vgl. l. c. p. 197).

FRANK giebt Cellulose als Inhalt von Zellen nur für die Orchisknollen an. Den Schleim derselben hat, nach seiner Angabe, schon KÜTZING[2]) durch Jod und Schwefelsäure blau färben können und deshalb denselben als Cellulose betrachtet Während KRAMER[3]) und WIGAND[4]) den Salepschleim für Verdickungsschichten der Zellmembranen hielten, hat FRANK nachgewiesen, dass hier ein Produkt des Plasmas vorliegt. Es muss überdies hervorgehoben werden, dass nach FRANK die als normale Bestandtheile des vegetabilischen Gewebes auftretenden Cellulose- und Gummistoffe schon bei ihrer Entstehung in den chemischen und physikalischen Eigenschaften des fertigen Zustandes erscheinen.

Wie nothwendig die Betonung dieser Thatsachen seiner Zeit gewesen sein musste, geht aus der Darstellung hervor, welche HOFFMEISTER in seinem Handbuche über die Pflanzenzelle gegeben hat (das fast gleichzeitig mit der FRANK-schen Arbeit erschien[5]). Er führt, sich auf die Angaben von SACHS stützend, die Verflüssigung der inneren Membranschichten der Endospermzellen von Phoenix dactylifera und anderen Palmen, auch von Liliaceen, an und bemerkt, dass die verflüssigte Substanz zum Wachsthum der Keimpflanzen verwerthet wird[6]). Betreffs der chemischen Eigenschaften der Zellhäute stellt sich HOFFMEISTER ganz entschieden wieder auf den Standpunkt der von HUGO VON MOHL vertretenen Einheitstheorie, wie aus seiner Darstellung der mikrochemischen Reaktionen der Zellhäute[7]) zweifellos hervorgeht. Als Charakteristicum gilt auch ihm die Blaufärbung durch Jod bei Gegenwart von Wasser und eines assistirenden Körpers

1) PRINGSHEIM, Jahrb. 1866—1867, S. 161—200.
2) Grundzüge zur philosophischen Botanik, Bd. I, S. 194—195.
3) Pflanzenphysiolog. Untersuchungen, Zürich 1855, S. 8.
4) PRINGSHEIM, Jahrb. III, S. 149.
5) Die Lehre von der Pflanzenzelle, Leipzig 1867.
6) l. c., S. 234.
7) l. c., S. 252 ff.

(irgend einer Säure), welcher die Bildung von Jodwasserstoffsäure zu Folge hat, sofern solche nicht bereits im angewandten Reagens vorgebildet ist.

Besonders bemerkenswerth ist, dass HOFFMEISTER auch der SCHLEIDEN'schen Unterscheidung der Amyloidsubstanz entgegentritt. Für das Endosperm von Hymenaea, Tamarindus, Mucuna, Primulaceen glaubt er die Blaufärbung durch Jod auf das Vorhandensein von Säuren oder Jod in Jodwasserstoffsäure überführenden Substanzen erklären zu müssen [1]).

Für die Unterscheidung verschiedener Modifikationen der Cellulose traten NÄGELI und SCHWENDENER mit der Publikation „das Mikroskop“ [2]) in dem Abschnitt „Mikrochemie“ ein. Die Verfasser stützen sich darin auf die Mittheilungen NÄGELI's in den Sitzungsberichten der bayerischen Akademie der Wissenschaften (6. Mai 1863).

Auf Grund der daselbst mitgetheilten Thatsachen wird in erster Linie behauptet: „die vegetabilischen Zellmembranen bestehen in vielen Fällen nachweisbar aus zwei isomeren, innig mit einander gemengten Bestandtheilen von ungleicher Löslichkeit“. Die Cotyledonen von Hymenaea und Mucuna sollen aus dem in kaltem, noch leichter in kochendem Wasser löslichen Bestandtheile bestehen, während in anderen Fällen die Einwirkung einer verdünnten Säure erforderlich sein soll, um den Bestandtheil der leichter löslichen Form auszuziehen.

Die ungleiche Löslichkeit der Zellmembran soll von der Micellarkonstitution abhängig sein und zwar in dem Sinne, „dass wasserreichere Membranen, welche kleine Micellen besitzen, sich leichter lösen, als die festen“ [3]). Freilich ward hierdurch eine befriedigende Aufhellung der Cellulosenatur nicht erreicht. Die von den Verfassern weiterhin gegebene Uebersicht der mikrochemischen Reaktionen ist für die Unterscheidung chemisch verschiedener Cellulosearten ziemlich belanglos. Immerhin verdient es doch Beachtung, dass die Verfasser vom Vorhandensein verschiedener Cellulosearten durchdrungen sind, wenn selbst die Charakterisirung derselben nicht befriedigt, da sie ihre Angaben durch keinerlei makrochemische Untersuchung stützen.

In der historischen Reihenfolge ist hier die Angabe THEODOR HARTIG's einzuschalten. In seiner „Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen“ [4]) behandelt er unter den Reservestoffen der Pflanzenzelle neben Stärke und Klebermehl auch noch andere „Mehle“ als organisirte Reservestoffe. Er führt u. A. auch das „Wandungsmehl“ auf (l. c. S. 94), von welchem er Seite 96 sagt: „*Konstituirendes* Mehl; Mehlkörper aus denen die Zellwandung sich aufbaut; *Wandungsmehl*, *Cellulosemehl*, *Holzmehl*.“ Die unklare Vorstellung von diesem „Mehl“, welche den Verfasser beherrscht, sucht er in dem folgenden Abschnitte seines Buches auseinanderzusetzen. Es geht daraus hervor, dass TH. HARTIG *alle* Zellmembranen aus Cellulose bestehend ansieht, aber er geht dabei so weit, dass er alle Cellulose zu den Reservestoffen stellt, eine Ansicht, welche er auf die Thatsache gründet, „dass in manchen Sämereien (Palmensamen, Tropaeolum) die Cellulose selbst nach ihrem Zusammentritt

1) l. c. S. 254.
2) I. Auflage 1867, II. Auflage 1877.
3) II. Auflage 1877 S. 519.
4) Berlin 1878.

Zellwandung im Keimungsprozess aufgelöst und als Reservestoff wirklich verwendet wird“ [1]). Dass diese Erweiterung des Begriffs der Reservecellulose willkürlich und nicht haltbar ist, braucht hier wohl kaum betont zu werden.

Von wesentlich anderem Standpunkte geht GODFRIN in seiner „Anatomie comparée des cotyledons de l'Albumen“ [2]) aus. Es lag nicht in seiner Absicht, die Frage nach der Bedeutung der Wandverdickungen von Cotyledonar- und Endospermzellen vom chemischen Gesichtspunkte zu behandeln; dagegen ist seine Arbeit für die Morphologie und Physiologie der Keimung von Bedeutung. So ist GODFRIN der Erste, welcher den Nachweis erbracht hat, dass das SCHLEIDEN'sche Amyloid der Cotyledonen von SCHOTIA [3]) in gleicher Weise Reservestoff ist, wie es FRANK [4]) für Tropaeolum vor ihm nachgewiesen hat. Verfasser giebt auch eine Aufzählung zahlreicher Samen, deren Cotyledonen resp. Endosperm mit Amyloid beziehungsweise Cellulose als Reservestoff ausgestattet sind.

Hier sind natürlich auch diejenigen chemischen Arbeiten zu erwähnen, welche von DRAGENDORFF und dessen Schülern über die Zusammensetzung der Zellwände veröffentlicht worden sind. Man hat Metarabinsäure und Parabin als Bestandtheile der Wände gefunden, und da diese Körper auch im unveränderten Grundgewebe vorkommen, so können sie selbstverständlich nicht zu den inkrustirenden Substanzen gehören, wie das ebenfalls für das Holzgummi von THOMSEN [5]), SCHUPPE [6]) und DRAGENDORFF [7]) angenommen wird. In den Aepfeln fand PFEIL [8]) eine Hydrocellulose, also einen Körper, welcher der Cellulose sehr nahe steht und doch von ihr verschieden ist.

Von WIELER [9]) wird wiederum bezweifelt, dass die nicht mit inkrustirenden Substanzen versehenen Zellwände aus mehreren Substanzen bestehen, vielmehr nimmt er an, dass sie nur aus Cellulose aufgebaut sind, die in Folge der Entstehungsweise der Membranen in verschiedenen physikalischen Modifikationen auftritt. Zu dieser Ansicht hatte ihn das Verhalten des Kern-, Splint- und Jungholzes von Pinus silvestris und des Jungholzes von Salix pentandra gegen Natronlauge bestimmt. Metarabinsäure wird den Membranen durch 1‰ Holzgummi durch 10 pCt. Natronlauge entzogen, und von 1 pCt. Natronlauge wird gleichfalls von den Membranen gelöst. WIELER konnte an dem von ihm untersuchten Material zeigen, dass Alles, was durch die Natronlauge verschiedener Konzentration gelöst wird, gewöhnlich auf Grund anderer Untersuchungen, als Cellulose angesehen wird. WIELER kommt also zu dem Ergebniss, dass zunächst die Cellulose in Natronlauge löslich ist, dass Holzgummi nicht zu den inkrustirenden Substanzen gehört, dass dasselbe vielmehr ebenso wie die Metarabinsäure und durch Natronlauge anderer Konzentration in Lösung ge-

1) l. c. S. 97.

2) Ann. de sc. nat. 6. Sér. T. 19 S. 1 ff.

3) l. c. S. 86.

4) l. c.

5) Chem. Unters. über die Zusammensetzung des Holzes. Journ. f. prakt. Chemie N. F., Bd. 19, 1879 S. 146.

6) N. SCHUPPE, Beiträge zur Chemie des Holzgewebes, Dorpat 1882 (Inaug.-Diss.).

7) DRAGENDORFF, Pflanzenanalyse, Göttingen 1882.

8) Chem. Beiträge zur Pomologie 1880. Diss. S. 39.

9) Analysen der Jungholzregion von Pinus silvestris und Salix pentandra nebst einem Beitrage zur Methodik der Pflanzenanalyse. Landw. Vers.-Stat. Bd. XXXII. 1886.

brachte Theile der Cellulosewand nichts weiter sind als Cellulosetheilchen mit kleineren Micellar- oder Molekularverbänden, wodurch ein Eingreifen schon verdünnter Laugen ermöglicht wird. Während also WIELER auf Grund seiner Untersuchungen zu dem Schlusse kommt, dass die vorhandenen chemischen Untersuchungen nicht zu der Ansicht berechtigen, dass jede Cellulosewand aus einer Mehrzahl von Kohlenhydraten besteht, so leugnet er andererseits die Möglichkeit nicht, dass es sein kann, nur muss dieselbe in besserer Weise begründet sein, als es unter Anwendung bestimmter Lösungsmittel bisher möglich gewesen ist.

Das Ergebniss der WIELER'schen Untersuchung, dass Cellulose bereits in verdünnter Natronlauge löslich ist, wurde von KOCH[1]) und HOFFMEISTER[2]) bestätigt. Ersterer behauptet allerdings die Selbstständigkeit des Holzgummis und begründet dieselbe namentlich mit der Bildung des Holzzuckers. Aus den KOCH'schen Untersuchungen geht aber nicht hervor, ob das Holzgummi ein Bestandtheil der Zellwand und namentlich die celluloseartige Grundlage ist. Es trägt deshalb diese Untersuchung nicht zur Klärung unserer Frage bei. HOFFMEISTER schliesst sich der WIELER'schen Ansicht, dass Holzgummi nur Cellulose sei, an. Er nimmt aber an, dass die Cellulosewand aus verschiedenen Cellulosen kombinirt sei und gründet diese Ansicht gerade darauf, dass durch Natronlauge verschiedener Konzentration Theile der Cellulose gelöst werden. Es ist hier nicht der Ort, auf eine Kritik dieser Ansicht einzugehen.

Endlich mag hier noch PRAëL's Stellung zur Holzgummifrage Erwähnung finden. Derselbe äussert sich darüber in seiner Arbeit: „Ueber Schutz- und Kernholz der Laubbäume“[3]) bei der Aufführung seiner Ergebnisse in folgender Weise: „In dem Holzgummi THOMSEN's ist eine in gewisser Beziehung modifizirte Cellulose zu erblicken“. PRAëL schliesst sich also ebenfalls der WIELER'schen Ansicht an und begründet dieselbe durch mikrochemische Reaktionen, indem er nach THOMSEN's Angabe behandelte Schnitte[4]) durch jungen Splint von Betula alba mit unbehandelten vergleicht. Letztere zeigten bei Einwirkung von Chlorzinkjod, dass die Mittellamelle, die bekanntlich am stärksten verholzt ist, gelb, die äusseren, sekundären Verdickungsschichten violett bläulich und die zarte innerste Membran etwas tiefer bläulich gefärbt wurden. Schnitte desselben Holzes, vorher der THOMSEN'schen Behandlung unterworfen, gaben mit Chlorzinkjod, abgesehen von der ungeänderten Gelbfärbung der Mittellamelle, nunmehr keine verschiedene Färbung der durch die Alkalien aufgequollenen Verdickungsschichten, dieselben nahmen vielmehr jetzt sofort eine einheitliche, bläulich-violette Färbung an.

Aus dieser mikrochemischen Beobachtung folgert PRAëL, dass das Holzgummi lediglich aus den sekundären Verdickungsschichten stammt und kommt auf Grund des bereits von THOMSEN, WIELER und KOCH konstatirten Verhaltens, nach welchem Holzgummi ganz genau wie Cellulose reagirt, zu

1) KOCH: Experimentelle Prüfung des Holzgummis und dessen Verbreitung im Pflanzenreich. Pharm. Zeitschr. für Russland 1886.

2) Die Rohfaser und einige Formen der Cellulose. Landw. Jahrb. (THIEL), Bd. XVII H. 2 u. 3 1888.

3) PRINGSHEIM's Jahrb. Bd. XIX, Heft 1 (Sond.-Abdr.).

4) Unter Anwendung von Maceration mit verdünntem Ammoniak und dann mit Natronlauge v. p. G. 1,19.

dem Schluss, „dass wir es hier mit nichts Anderem als gewissen, etwas modifizirten (in Natronlauge löslichen) Antheilen von Cellulose zu thun haben. Vergleichende mikrochemische Versuche mit Nadelhölzern, die bekanntlich kein Holzgummi führen, hat PRAëL nicht angestellt.

Als das Resultat dieser historischen Uebersicht hat sich somit ergeben, dass die Einheitstheorie für den Grundstoff der Zellmembranen zweifelhaft geworden ist, dass es vielmehr eine der wichtigsten Aufgaben sein wird, die Eigenschaften der unter dem Namen Cellulose zusammengefassten Stoffe vom chemischen und botanisch-physiologischen Standpunkte zu präzisiren. In diesem Sinne soll die folgende Darstellung nach den in der Einleitung vorausgeschickten Gesichtspunkten aufgefasst werden.

Ich lasse zunächst den botanischen Theil der Arbeit folgen.

I. Botanischer Theil.

Um das Verhalten der Reservecellulose von rein botanischen Gesichtspunkten kennen zu lernen, schien es geboten, den Keimungsprozess einer Reihe von Samen zu verfolgen, um eventuell daraus Anhaltspunkte für das chemische und physiologische Verhalten der in ihnen gespeicherten Reservecellulose zu gewinnen. Hierbei musste darauf Rücksicht genommen werden, dass möglichst verschiedene Typen zur Beobachtung kamen, es mussten Samen theils mit dickwandigem Endosperm, theils mit dickwandigen Cotyledonen gewählt werden. Dementsprechend erstreckten sich die Untersuchungen auf die Keimung der Samen von Palmen (Phoenix dactylifera L., Chamaerops humilis L.), Liliaceen (Asparagus offic. L., Allium Cepa L.), Irideen (Iris pseudacorus L.), sowie einer Reihe von Dicotyledonen. Von letzteren beschränkte ich mich auf die Untersuchung der Samen von Strychnos nux vomica L. (Loganiaceae), von Coffea arabica L. (Rubiaceae), Foeniculum officinale L. (Umbelliferae), Paeonia officinalis L. (Ranunculaceae), Tropaeolum majus L. (Tropaeolaceae), Impatiens Balsamina L. (Balsamineae) und Primula officinalis Jacq. (Primulaceae).

Von den angeführten Dicotyledonen konnte ich bisher die Keimung nur bei Foeniculum, Tropaeolum und Impatiens verfolgen und, da Primula nicht keimte, wählte ich Cyclamen zur Keimung, während die ausgesäten Samen von Coffea, Strychnos und Paeonia sich als nicht keimfähig erwiesen.

Für die Wiedergabe meiner Beobachtungen empfiehlt es sich, zunächst das untersuchte Material nach Species geordnet zu besprechen.

I. Die Keimung „Reservecellulose“ führender Samen.

1. Phoenix dactylifera.

Wenn ich mit der Beschreibung der Keimung der Dattel, soweit sie hier zu berücksichtigen noch nöthig ist, beginne, so hat dies seine mehrfachen Gründe. Einerseits ist diese Keimungsgeschichte, wie schon in der Einleitung

betont wurde, von hervorragend historischer Bedeutung. An die Keimungsgeschichte der Dattel knüpfte sich ja überhaupt die Unterscheidung der Reservecellulose an, bei der Dattel wurde das Verhalten derselben während des Keimungsprozesses zuerst verfolgt und ist auch bisher bei keiner andern Pflanze in gleicher Weise eingehend behandelt worden. Aus diesem Grunde bildeten auch die Dattelsamen und deren Keimpflanzen das Ausgangsmaterial für meine ersten Untersuchungen, wie überhaupt die wichtigsten in der Einleitung berührten Fragen an die damalige Kenntniss jenes Keimungsprozesses anknüpften, um freilich später während der Bearbeitung manche Modifikation und Erweiterung zu erfahren.

Nach MOHL's Angabe[1]) hat schon MALPIGHI eine vollständige Keimungsgeschichte von Phoenix dactylifera gegeben[2]). Er beobachtete, dass das Albumen bei der Keimung erweicht und die Zellen ihrer Säfte entleert werden, während die Membranen zurückbleiben. Bezüglich der letzteren Angabe hat MOHL unsere Kenntniss wesentlich vertieft; denn er weist ausdrücklich darauf hin, dass in dem erweichten Endosperm auch die Membranen der Zellen resorbirt und ihre Reste nach der Entleerung der Zellen vor dem Embryo hergeschoben werden[3]). Wie Phoenix verhält sich nach MOHL auch der keimende Same von Corypha frigida.

Ausführlicher noch wird dieser Punkt in der vielerwähnten SACHS'schen Arbeit behandelt. SACHS liess bezüglich der Histologie nur noch eine Lücke; es gelang ihm nicht den Erweichungsvorgang an der Grenze zwischen dem hornigen und dem bereits erweichten („teigigen") Theile zu verfolgen. Er sagt selbst, dass seine besten Präparate zu undeutliche Bilder gaben, so dass seine Abbildung nach einzelnen Vorkommnissen zusammengestellt sei, die er in der gezeichneten Art glaube deuten zu müssen[4]). SACHS glaubt darnach, dass die Verdickungsschichten der Endospermzellen in der Nähe des Saugorgans des Keimlings nicht zu einem homogenen Brei innerhalb der primären Zellhaut (Mittellamelle) zusammenfliessen, „sondern dass die Verdickungsschichten sehr stark aufquellen."

Es ist mir nun gelungen, diese Lücke auszufüllen. Es wurden die an ziemlich weit entwickelten Keimpflanzen noch anhaftenden Samen (eigentlich nur Samenreste) in Paraffin eingebettet. Zu diesem Zwecke wurden die Samen an der Austrittstelle des Keimblattes quer durchschnitten und etwa 24 Stunden in nur wenig über seinen Schmelzpunkt (etwa 60° C.) erwärmtes Paraffin belassen. Die vom Paraffin durchdrungenen Samenhälften wurden dann in ihrer Grösse entsprechende Papierkästchen gebracht und möglichst schnell in kaltem Wasser abgekühlt, um die Bildung von Luftblasen beim Erstarren des Paraffins zu verhindern.

---

1) De palmarum structura.

2) Opera posthuma London 1697, fol. S. 72. Eine ausführliche Literaturübersicht über die Dattelkeimung gab REES in seiner Protektoratsrede: „Ueber die Pflege der Botanik in Franken", Erlangen 1884. Daselbst wird auch erwähnt, dass die erste Abbildung eines keimenden Dattelsamens von Camerarius im hortus medicus et philosophicus (1858) gegeben worden ist. Vergl. auch KLEB's Beitr. zur Morphol. und Biolog. der Keimung. Unters. a. d. bot. Inst., Tübingen, I, S. 567.

3) „Albumen humore emollito, vel in liquorem solvitur, et embryo deinde resorbet liquidum, atque vacuatarum cellularum membranas removet." Vergl. auch das Citat im hist. Theil.

4) l. c. S. 250.

Von den eingebetteten Samen gewonnene Schnitte wurden auf dem Objektträger wiederholt mit Terpentinöl, zuletzt mit absolutem Alkohol vorsichtig ausgewaschen. Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Schnitte bei dem Auswaschen völlig vom Berühren (mit Pinsel, Glasstab und dergl.) verschont bleiben, weil sie sonst an der kritischen Uebergangsstelle zerbrechen. Die Schnitte zeigen dann, in Glycerin untersucht, dass ein Aufquellen und eine Verflüssigung der Verdickungsschichten bei der Auflösung der Endospermzellen, wie SACHS annimmt, *nicht* stattfinden. Der Auflösungsprozess lässt sich vielmehr mit einem *Abschmelzen* der jeweilig innersten, vom Plasma umspülten, sekundären Zellwandpartien vergleichen. Zur Erläuterung des Vorganges mögen die beigegebenen Abbildungen dienen.

Zum Vergleich gebe ich zunächst ein Bild der verdickten Zellwände des Endosperms des ruhenden Samens (vergl. die Tafel Fig. 1). Die Wände lassen *keinerlei Schichtung*[1]), auch *keine Mittellamelle*[2]) erkennen, die letztere tritt nur als Schliessmembran der überaus deutlichen Tüpfel sichtbar hervor. Die verdickten Zellwände erscheinen eigenartig lichtbrechend und homogen. Vergleicht man mit diesem Befunde die in der Auflösung begriffenen Zellen des Endosperms der keimenden Samen (vergl. die Tafel Fig. 1—1f), so findet man den mittleren Theil der verdickten Wände von gleicher optischer Beschaffenheit wie in den intakten Endospermpartien, während die an die Lumina grenzenden Wandtheile das Licht schwach brechen und hyaliner, fast gelatinös erscheinen. Die stark lichtbrechenden Wandpartien heben sich dadurch wie Inseln in einer hyalinen Grundmasse ab. Es ist dabei zu bemerken, dass bei Betrachtung mit genügend starken Systemen (600facher Vergrösserung) sich die hyalinen Schichten scharf in die Tüpfelkanale fortsetzen, wie es die Figuren 1b, 1e und 1f auf der Tafel veranschaulichen. Es lässt sich auch nunmehr die Mittellamelle von der Schliesshaut des Tüpfels aus durch die hyalinen Schichten bis an den unveränderten mittleren Theil der Wandungen, nicht aber durch diese hindurch, verfolgen, wie es die Fig. 1b, 1e und 1f zeigen. Vergleicht man nun die Wanddicke der intakten Endospermzellen (s. d. Tafel Fig. 1) mit der Wanddicke der in Lösung begriffenen Zellen (Fig. 1e), so findet man *niemals* wesentliche Aufquellung, im Gegentheil es nimmt die Wanddicke mit fortschreitender Auflösung ab. Dabei werden die Schliessmembranen und dementsprechend die Tüpfelkanäle viel breiter, auch wohl undeutlicher, weil die noch nicht gelösten stark lichtbrechenden Wandtheile mehr und mehr keilförmig gegen die Tüpfel hin sich verschmälern (vergl. besonders Fig. 1c auf der Tafel). Auch dadurch drängt sich der Lösungsprozess als ein „Abschmelzen" der Reservecellulose der Anschauung auf. Die Differenzirung der hyalinen Schichten bewirkt übrigens auch, dass die von der Fläche betrachteten Tüpfel wie behöft erscheinen, obwohl sie nicht behöft sind (vergl. Fig. 1b, der Tafel).

---

1) Um die Schichtung deutlich zu machen, wendet man nach STRASBURGER mit Vortheil eine verdünnte Chlorzinkjodlösung an. (Vergl. in seinem Buche „Ueber den Bau und das Wachsthum der Zellhäute. Jena 1882.) Daselbst wolle man auch die vorzügliche Darstellung des Schichtenverlaufs nachlesen.

2) SACHS giebt auffälligerweise an „die primären Zellhäute sind leicht als doppelt konturirte Lamellen zwischen den dicken Verdickungsschichten zu erkennen", wie er es auch auf seiner Figur darstellt.

In der geschilderten Weise schreitet nun der Lösungsprozess in den Wandverdickungen fort, bis endlich nur noch die scharf konturirten Mittellamellen übrig bleiben, welche jedoch bald durch das Wachsthum des Saugorganes wellig und faltig zerknittert werden, um schliesslich in der von SACHS abgebildeten Form zu erscheinen. Nur äusserst selten gelingt es, Partien des völlig ausgesaugten, noch nicht zusammengedrückten Endosperms, welches nur aus den Mittellamellen besteht, zur Ansicht zu bringen, wie es Fig. 1g auf der Tafel darstellt[1]).

2. Chamaerops humilis L.

Die kugeligen Samen dieser Palme gleichen im Wesenlichen in ihrem histologischen Aufbau den Dattelsamen. Sie unterscheiden sich von diesen nur durch die ruminate Beschaffenheit des Endosperms.

Der Auflösungsprozess der dicken Endospermwände vollzieht sich bei der Keimung in der oben besprochenen Weise, so dass nähere Angaben nur zu Wiederholungen führen würden.

Nach der Auflösung bleiben die die ruminate Beschaffenheit des Endosperms bedingenden Zapfen und Leisten auf der Innenseite der Samenschale erhalten, wie es nach PFITZER's Angabe bei der Keimung aller mit ruminatem Endosperm ausgestatteten Palmensamen der Fall ist[2]).

3. Asparagus officinalis L.

Die Zellen des Endosperms der ruhenden Samen erinnern durch ihre Dickwandigkeit und durch ihre relativ weiten Tüpfel lebhaft an den Bau des Endosperms von Phoenix. Bemerkenswerth ist jedoch eine Thatsache; in der Mehrzahl der Fälle ist es absolut unmöglich ohne vorhergehende Behandlung der Schnitte, selbst bei Anwendung starker und vorzüglicher Systeme irgend welche Spur der Mittellamelle (gerade wie bei Phoenix) zu erblicken (vergl. die Tafel Fig. 2). Doch gelang es in einigen Fällen an beschränkten Stellen der Präparate, die Mittellamellen, wenn auch sehr zart, doch immerhin deutlich und zweifellos zu beobachten. Sehr auffällig ist nun die Beobachtung, dass nach wenigen Minuten der Einwirkung von Kupferoxyd-Ammoniak die Mittellamellen bei Schnitten aus ruhenden Samen ausserordentlich deutlich hervortreten. Die Behandlung bewirkt in ihnen eine bedeutende Herabsetzung des Brechungsindex, während die Verdickungsschichten auch nach der Behandlung in der bekannten Weise stark lichtbrechend wirken. Dieses Gegensatzes wegen erscheinen die Mittellamellen wie tiefe Furchen zwischen den aus Reservecellulose bestehenden Membranverdickungen. Es wird sogar der Anschein erweckt, als seien die Mittellamellen durch das Kupferoxyd-Ammoniak völlig „ausgefressen“. Diese Beobachtung verdient hervorgehoben zu werden, weil sie eine differente Beschaffenheit der verschiedenen Membranschichten erweist. Dass das „Ausfressen“ der Mittellamelle durch Kupferoxyd-Ammoniak nur scheinbar stattfindet, liess sich durch Auswaschen der Schnitte mit verdünnter Essigsäure behufs Entfernung des

1) Der gezeichnete Schnitt würde einem Querschnitt des ruhenden Endosperms entsprechen.

2) PFITZER „über Früchte und Keimung einiger Palmen“. Ber. d. d. bot. Ges. 1885, Bd. 3, S. 44, woselbst angegeben wird, dass MARTIUS dieses Verhalten zuerst bei Euterpe oleracea beobachtet und abgebildet hat. (Hist. nat. Palm. Tab. 30, Fig. XIV.)

aufgespeicherten Kupferoxyd-Ammoniaks und nachherige Färbung mit Kongoroth nachweisen.

Verfolgt man nun die Auflösungsprozesse während der Keimung der Samen, so macht sich zunächst eine Erscheinung geltend, welche an die Vorgänge im Endosperm von Phoenix erinnert. Die stark lichtbrechenden Partien werden zum Theil schwach lichtbrechend, nur die Zwickel, in denen sich die Wände je dreier benachbarter Zellen begegnen, bewahren ihr Lichtbrechungsvermögen und erscheinen als glänzende Inseln in dem sonst gleichmässig beleuchteten Gesichtsfelde. Dadurch erwecken die bereits veränderten, hyalin gewordenen Verdickungsschichten den Anschein einer Verschleimung, ähnlich wie es bei Phoenix geschildert wurde (vergl. dazu die Tafel Fig. 2b, Fig. 2d und Fig. 2b). Bei dieser Erscheinung giebt sich niemals eine Schichtenbildung innerhalb der hyalinen Membrantheile zu erkennen. Dagegen ist es eine allgemeine Erscheinung, dass überall da, wo die starke Lichtbrechung der Membranen benachbarter Zellen verschwunden ist, die Mittellamelle deutlich als scharfe Linie hervortritt, welche aber ebenso scharf an den Punkten unterbrochen ist, wo sie sich an die stark lichtbrechenden Zwickel ansetzt (s. d. Tafel Fig. 2d und 2b.

Der Lösungsprozess vollzieht sich übrigens in unmittelbar benachbarten Zellen verschieden schnell; während (wie in Fig. 2b) in einzelnen Zellen die gesammte Masse der Reservecellulose bis an die Mittellamelle (primäre Membran) ihre starke Lichtbrechung verloren hat, haben die Verdickungsschichten in den benachbarten Zellen die ursprüngliche Lichtbrechung beibehalten, während in anderen Fällen, wie in Fig. 2d die lichtbrechenden Membranstücke verschieden weit in die hyalinen Massen vorspringen, gegen welche sie sich mit scharfen Umrissen und scharfen Winkeln abheben.

Schreitet nun die Lösung der verdickten Endospermwände vorwärts, so werden auch die Zwickel in eigenartiger Weise gelöst (vergl. Fig. 2e). Es werden muschel- oder blasenförmige Partien vom Lumen der Zelle her, namentlich aber häufig an den Ecken der Zwickel hyalin. Der Lösungsprozess der Zwickel erinnert lebhaft an ein „Ausfressen“ derselben, wie es die citirte Figur am besten veranschaulichen wird.

Sind nur noch ganz kleine Reste der Zwickel vorhanden, so trifft man häufig auf Bilder wie Fig. 2e, auf der Tafel. Dieselben lassen einen auffälligen Unterschied zwischen der Lösung des Endosperms von Asparagus und Phoenix erkennen. Die vorerwähnten Bilder von Asparagus liessen es unentschieden, ob hier ein „Abschmelzen“ der Cellulose, wie es bei Phoenix geschildert wurde, stattfindet. Hier aber zeigt sich aufs Schlagendste, dass die Umrisslinie der hyalin gewordenen Verdickungsschichten, welche die Grenzlinie der Zellwände gegen das Lumen der Zellen bildet, eine resistente Lamelle ist, die mit STRASBURGER's „Grenzhäutchen“ (Innenlamelle)[1]) identisch ist. Zwischen den Innenlamellen benachbarter Zellen wird nun die gesammte Zellstoffmasse bis auf die Mittellamelle aufgelöst. Letztere ist übrigens bedeutend deutlicher als jene. Schliesslich findet man an gelungenen Präparaten in der Nähe des Saugorgans Endospermreste, welche nur aus äusserst zarten Mittellamellen zu bestehen scheinen, jedoch völlig gespannt und geradlinig (also nicht wellig verbogen oder geknittert) sind; sie markiren mit völliger Schärfe die primären Grenzlinien der Endospermzellen, obwohl sie im Gesammtbilde durch

1) STRASBURGER, „Bau- und Wachsthum der Zellhäute“, 1882, S. 19.

ihre Zartheit fast völlig verschwinden. Fig. 2f giebt dieselben nach einem mit Immersion beobachteten Objekte.

Sehr augenfällig sind in solchen Präparaten die zahlreichen grossen, stark lichtbrechenden Oelkugeln, welche vermuthlich ein Umwandlungsprodukt der Reservecellulose sind, denn im ruhenden Samen finden sich keinerlei sichtbare Oeltröpfchen vor[1]). Plasma kommt neben den Oelkörpern nur noch in verschwindenden Resten vor.

Bilder, wie sie Fig. 2g darstellt, können die Ansicht erwecken, dass im letzten Stadium der Lösung die Innenlamellen (STRASBURGER's Grenzhäutchen) völlig verschwinden, so dass schliesslich nur die zarten Mittellamellen erhalten bleiben, welche von dem Saugorgan des Keimlings wie bei Phoenix zusammengedrückt werden. Dem ist aber nicht so. Ich konnte mich durch die Beobachtung mit ZEISS Oel-Immersion $^1/_{18}$ aufs Sicherste überzeugen, dass zu beiden Seiten der Mittellamelle die Innenlamellen erhalten bleiben, entweder in der welligen Form wie in Fig. 2a oder straffgespannt wie in Fig. 2f. Nur sind bei der völligen Lösung die Innenlamellen von ausserordentlicher Feinheit, was vielleicht mit dem geringen Brechungsvermögen zusammenhängt. (Vergl. Fig. 2c.

Interessant ist es zu beobachten, mit welcher Energie der Lösungsprozess des Endosperms betrieben wird[2]).

Ich habe wiederholt beobachtet, dass das Epithel des Saugorganes von Asparagus das Endosperm bis zur Samenschale hin gelöst hatte. Die Epithelzellen stiessen scheinbar unmittelbar an die Innenwand der Testa an, scheinbar, weil noch eine sehr dünne Schicht zusammengepresster Innen- und Mittellamelle das Epithel überdeckte.

Vergleicht man nach diesen Angaben die Endospermauflösung von Asparagus mit der von Phoenix, so ergiebt sich ein beachtenswerther Unterschied. Bei Asparagus findet kein „Abschmelzen" der Reservecellulose statt, dieselbe wird vielmehr in jeder Zelle zwischen ihrer Innenlamelle und der primären Membran aufgelöst, d. h. die Auflösung findet für benachbarte Zellen zwischen ihren parallelen Innenlamellen statt. Ich will deshalb diesen Modus der Auflösung als „intralamellar" bezeichnen.

IV. Allium Cepa L.

Die Keimungsgeschichte der Samen von Allium Cepa ist nach physiologischen Gesichtspunkten bereits von SACHS verfolgt worden[3]), wobei die morphologischen Verhältnisse der Endospermzellen eingehend erörtert worden sind. Stark verdickte Wandflächen von wenigen Porenkanälen durchsetzt und der Mangel erkennbarer Schichtung der stark lichtbrechenden Zellwände genügen zur Charakteristik. Die von SACHS gegebenen Bilder der Endospermzellen zeigen ausnahmslos die Mittellamellen, wie er sie auch von Phoenix abgebildet

---

1) Mikrochemisch lässt sich freilich fettes Oel in den Asparagus-Samen nachweisen.

2) Ein eigenartiges Bild giebt VAN TIEGHEM in seinem Traité de Botanique S. 908, wenn er die Energie, mit welcher der Embryo von Phoenix und Phytelephas die Cellulosemembran des hornigen Endosperms löst, mit der Fähigkeit der Nagethiere vergleicht, welche gewiss nicht im Stande wären, vegetabilisches Elfenbein zu fressen.

3) Ueber die Keimung des Samens von Allium Cepa, Bot. Zeitung 1863, S. 57 ff.

hat. Aus der Figurenerklärung[1]) geht aber hervor, dass die gezeichneten Endospermzellen von Allium theils unter Baumöl beobachtet wurden, theils Schnitten entstammten, welche mit Essigsäure resp. Aether behandelt worden waren. Liegen die Schnitte in Wasser oder Glycerin, so lässt sich nach meiner Beobachtung nirgends die geringste Andeutung einer Mittellamele erkennen. (Vergl. die Tafel Fig. 1 links). Ich vermuthete nun, dass das Sichtbarwerden der Mittellamelle durch Einlegen der Schnitte in Baumöl erfolge, überzeugte mich aber, dass auch dann die Mittellamelle unsichtbar bleibt. Lässt man aber nur kurze Zeit Kupferoxyd-Ammoniak einwirken, so wird auch hier die Mittellamelle wie bei Asparagus und Phoenix sehr deutlich beobachtet.

SACHS hat nun durch die Reaktion mit Jod und Schwefelsäure zu erkennen geglaubt, dass die Verdickungsmasse der Zellwände, wenigstens der Hauptmasse nach, aus unverändeter Cellulose bestehe[2]). Wenn auch die Analogie der Keimung von Allium und der von Phoenix nach der SACHS'schen Darstellung unverkennbar ist, so ist doch gerade diese Analogie bezüglich der verdickten Zellwände des Endosperms von SACHS nicht behauptet worden. Derselbe sagt (l. c. p. 69) darüber wörtlich: „Ob die Substanz der Zellwände vielleicht selbst (wenigstens zum Theil) für den Keim resorbirt wird, auch darüber konnte ich zu einer bestimmten Ansicht nicht kommen; doch ist gewiss, dass die Zellhäute des ausgesogenen Endosperms mit Jod und Schwefelsäure sich noch schön blau färben. Was die Untersuchung des Endosperms während seiner Aussaugung so sehr erschwert, ist der Mangel an Turgescenz und Saftfülle; das mit Wasser imbibirte Gewebe lässt sich unter Oel nicht zu klarer Anschauung bringen."

Es ist mir nun auch in diesem Falle gelungen, die SACHS'schen Untersuchungen zu vervollständigen.

Zunächst liess sich an gekeimten Samen, welche in absolutem Alkohol gehärtet waren, die Auflösung der Zellwandverdickungen konstatiren. Die Substanz der Zellwände wird also sicher vom Keim resorbirt, d. h. die Zellwände des Endosperms von Allium sind in gleichem Sinne Reservecellulose, wie es von Phoenix bekannt ist. Diese Identität wurde auch durch die makrochemische Untersuchung erwiesen, wie im chemischen Theil dieser Arbeit näher ausgeführt werden wird. Um so interessanter ist es, dass der Lösungsprozess der Reservecellulose von Allium nicht in gleicher Weise wie bei Phoenix sich abspielt.

Da wo die Lösung der Reservecellulose in den Endospermzellen beginnt, sieht man zwar auch zunächst schwächer lichtbrechende (hyaline) Säume, zwischen welchen die mittleren stark lichtbrechenden Wandpartien hervorleuchten. Die hyalinen Säume sind aber viel schmäler als im Endosperm von Phoenix (auch von Asparagus). Es wird auch nirgends ein Abschmelzen, wie früher beschrieben, sichtbar. Es bleibt im Gegentheil der Innenkontur der hyalinen Lamelle jederzeit als scharfe Linie sichtbar, bis die stark lichtbrechenden Zellwandpartien völlig verschwunden sind (Fig. 3a). In den völlig ausgesogenen Endospermzellen nähern sich aber die benachbarten Grenzlinien, die wir nun als resistente Grenzhäutchen (Innenlamellen) erkennen, einander so weit, dass man es mit einem dünnwandigen Parenchym zu thun zu haben glaubt.

Man könnte nun leicht zu der Meinung verführt werden, es verhalte sich

1) l. c. S. 70.
2) l. c. S. 57.

Allium bezüglich der Lösung der Reservecellulose zwar nicht wie Phoenix, wohl aber wie Asparagus, mit anderen Worten, dass bei Allium „intralamellare" Auflösung stattfinde. Die Beobachtung lehrt jedoch, dass wir hier einer bisher noch nicht erwähnten Modifikation derselben begegnen. Zunächst treten die Mittellamellen während des ganzen Lösungsprozesses niemals deutlich hervor, so dass ich anfänglich glaubte, dass die Mittellamellen wie die Reservecellulose aufgelöst würden (vergl. Fig. 3) Erst die Beobachtung der völlig ausgesogenen Endospermgewebe mit starken Objektiven verschaffte mir die Gewissheit, dass zwischen je zwei stärker lichtbrechenden Innenlamellen die Mittellamelle erhalten ist. Fig. 3a veranschaulicht dieses Verhalten; die Figur wurde bei Anwendung von Oelimmersion gezeichnet. Vergleicht man dieselbe mit Fig. 2f, besonders aber mit Fig. 2c, so wird der Gegensatz zwischen Asparagus und Allium in die Augen springen. Bei Allium sind die Innenlamellen deutlicher als die Mittellamellen, bei Asparagus umgekehrt die Mittellamellen deutlicher als die Innenlamellen. Dieser Unterschied ist freilich nur graduell zu nennen und würde deshalb belanglos sein, wenn nicht ein anderes charakteristisches Merkmal die Endosperm-Auflösung von Allium auszeichnete. Wo nämlich die Bildung der hyalinen Säume eben beginnt, wo also die intakten Zellen eben angegriffen werden, sieht man zahllose äusserst feine radiale Kanäle von innen her in die Zellwand eindringen, zwischen welchen die stark lichtbrechende Reservecellulose als eine Anzahl feiner „Stacheln" erscheint. Es soll dieser eigenartige Lösungsprozess als „Korrosion" bezeichnet werden.

Die Beobachtung von Allium lieferte also das Resultat, dass die Zellwandverdickungen wie bei Phoenix und Asparagus als Reservestoff funktioniren. Ihre Lösung vollzieht sich jedoch „intralamellar" mit gleichzeitiger „Korrosion".

V. Iris pseudacorus L.

Aus der Familie der Irideen wurde die Keimung bei Iris pseudacorus verfolgt. Im ruhenden Samen zeigen die Zellen des hornigen Endosperms sehr dicke und stark lichtbrechende Wände mit zahlreichen engen Porenkanälen (s. d. Tafel Fig. 4). Die Mittellamellen treten bei in Wasser und in Glycerin liegenden Schnitten gar nicht hervor; doch können sie wie in den oben beschriebenen Fällen durch kurze Behandlung mittelst Kupferoxydammoniak sichtbar gemacht werden, wobei zu gleicher Zeit auch wieder ausserordentlich deutlich die Schichtung in den Membranverdickungen hervortritt. Nach Beginnen der Keimung lässt sich mit Leichtigkeit erkennen, dass die Wandverdickungen gelöst werden, dass auch hier die Zellwände wesentlich aus Reservecellulose bestehen.

Viel schwieriger ist es dagegen, über die Art des Lösungsprozesses in's Klare zu kommen. In vielen Fällen verliert sich wie bei Phoenix, Asparagus und Allium das starke Lichtbrechungsvermögen der an das Lumen der Zellen grenzenden Verdickungsschichten, wobei dann die mittleren Wandpartien, besonders die Zwickel, an denen sich je drei oder vier Zellen begegnen, stark lichtbrechend bleiben. Diese vom Lösungsprozess noch nicht ergriffenen Wandpartien vermögen übrigens in hohem Masse Farbstoffe zu speichern. Fig. 4a auf der Tafel veranschaulicht das die Aufspeicherung von Kongoroth, in den noch intakten Endospermwänden. Der so behandelte Schnitt zeigt, dass den in Lösung gehenden hyalinen Schichten die Fähigkeit der Farbstoff-

speicherung fehlt. Zu gleicher Zeit treten in ihnen (aber nicht in den stark lichtbrechenden Theilen) die Mittellamellen ausserordentlich scharf hervor. Man könnte auch in diesem Falle annehmen, der Lösungsprozess verhalte sich wie bei Asparagus, dass also die Grenzlinie der hyalinen Säume der Innenlamelle entspräche. Durchmustert man aber wohlgelungene Endospermschnitte, so findet man wiederholt Korrosionsbilder wie Fig. 4b. Es beginnt an solchen Stellen der Auflösungsprozess eben an der innersten Membranschicht, welche von zahllosen Radikalkanälen durchsetzt wird. Unter-sucht man nun Schnitte aus Samen, welche durch den weiteren Keimungsprozess schon wesentliche Veränderungen erfahren haben, so stösst man ausnahmslos auf Bilder, wie sie in Fig. 4c und 4d fixirt sind. Man sieht hier statt der „Korrosionskanäle" weite und tiefe „Korrosionslücken", welche gleichsam durch stark zugespitzte kegelförmige „Korrosionsstacheln" von einander getrennt sind. „Korrosionsstacheln" von solcher Grösse und Deutlichkeit habe ich bisher bei keiner andern Pflanze wiedergefunden. Die Keimung von Iris ist deshalb für die Kenntniss des Korrosionsprozesses von hoher Wichtigkeit. Nun sieht man, wie in Fig. 4c und 4d stets eine äusserst zarte Linie über die Spitzen der „Korrosionsstacheln" fortgehen und diese Linie lässt sich auch als Grenzlinie der Wand gegen das Lumen der Zellen an den Stellen verfolgen, wo keine Spur von „Korrosionszähnen" mehr vorhanden ist. (Vergl. die durch den Pfeil markirte Zelle in Fig. 4c. Hier ist also eine breite hyaline Innenschicht vorhanden, welche den Innenschichten in Fig. 4a entspricht. Wollte man aber aus diesem Befunde den Schluss ziehen, dass bei Iris, wie bei Allium, eine „intralamellare" Auflösung mit gleichzeitiger Korrosion stattfindet, so würde man sich einer argen Täuschung hingeben. Figur 4d zeigt im Vergleich zu Fig. 4c, dass mit fortschreitender Korrosion die Wände in gleichem Masse dünner werden. Die scheinbare Innenlamelle nähert sich also mehr und mehr der Mittellamelle, dabei immer die Spitzen der längsten „Korrosionsstacheln" verbindend. Ein solches Verhalten wäre für Innenlamellen ganz unerklärlich, denn sie müssten mit Rücksicht auf die ursprüngliche Dicke der Zellwände eine ausserordentliche Flächenausdehnung erfahren, wenn sie sich während des Lösungsprozessesd em viel grösseren Volumen der durch die Mittellamellen dargestellten Zellgrenzen anpassen sollten. Und wie Fig. 4e erkennen lässt, bleiben nach völliger Aussaugung der vom Lösungsprozess ergriffenen Zellen nur noch die Mittellamellen übrig. (Vergl. die mit *a* bezeichnete Partie der Fig. 4e). Es geht aus diesen Beobachtungen und Erörterungen hervor, dass die scheinbaren Innenlamellen nur die vorübergehend sichtbaren Grenzlinien der bei den intakten Zellen aufeinanderfolgenden Verdickungsschichten sind, wie sie bei der Behandlung mit Kupferoxydammoniak sichtbar werden. Innerhalb jeder dieser Schichten schreitet die Korrosion derart vor, dass grosse stachelförmige Stücke stehen bleiben, die der Einfachheit wegen als „Korrosionsstacheln" bezeichnet sein mögen. Sind die „Korrosionsstacheln" der in Lösung begriffenen Schicht völlig verschwunden, so löst sich die Schicht von innen her allmählich auf, und schliesslich spielt sich der gleiche Korrosionsprozess in der folgenden, bisher noch stark lichtbrechenden Schicht von Neuem ab und so fort, bis endlich die Mittellamellen allein übrig bleiben. Man kann somit sagen, bei Iris findet eine Kombination von Korrosion und Abschmelzen statt. Die Auflösung des Irisendosperms steht also in gleichem Verhältniss zum Lösungsprozess von Phoenix, wie die Lösung des Endosperms von Allium zu derjenigen von Asparagus.

VI. Foeniculum officinale L.

Das ziemlich harte Endosperm in den Theilfrüchten des Fenchels ist aus im Querschnitt rechteckigen oder fast quadratischen Zellen aufgebaut, deren Wände nur mässig verdickt sind, keinerlei Porenkanäle führen, und in Wasser oder Glycerin liegend, mit ziemlicher Deutlichkeit die Mittellamellen erkennen lassen. Kupferoxydammoniak löst die Zellmembranen auffälliger Weise nicht — alle bis jetzt behandelten Endospermwände waren ja darin löslich — doch treten nach der Behandlung die Mittellamellen ähnlich wie bei den bereits beschriebenen Endospermen mit grosser Deutlichkeit hervor[1]).

Zunässt musste festgestellt werden, ob die *mässig* verdickten Zellwände des Foeniculum-Endosperms die Deutung zulassen, dass in ihnen eine Reservecellulose vorliegt, welche neben dem fetten Oele in den stärkefreien Samen gespeichert ist. Die Beobachtung gekeimter Samen bestätigte diese Vermuthung. Während der Keimung bleiben die beiden Kotyledonen zur Aufsaugung des Endosperms von der Fruchtschale umschlossen. Auf Querschnitten gekeimter in Alkohol gehärteter Theilfrüchte erkennt man nun da, wo die Auflösung und der Verbrauch der Reservestoffe stattfindet, eine bemerkenswerthe Auflockerung der Endospermwände. Dieselben verlieren ihr bis dahin starkes Lichtbrechungsvermögen, sie werden hyalin; besonders auffällig ist aber, dass überall da, wo die Auflösung der Membranen eingeleitet wird, die Mittellamelle undeutlich wird und ganz verschwindet (Vergl. Fig. 5). Zu gleicher Zeit haben die hyalinen Membranen ihr Farbstoffspeicherungsvermögen gegenüber Kongoroth fast ganz eingebüsst[2]). Am interessantesten ist aber, dass wir hier einem Auflösungsprozesse begegnen, wie wir ihn bisher noch nicht geschildert haben. Beobachtet man nämlich völlig ausgesogene Endospermpartien bei starker Vergrösserung (Fig. 5a rechts), so findet man, dass nur die Innenlamelle (das Grenzhäutchen) jeder Endospermzelle als äusserst zarte, etwas wellige Linie sichtbar bleibt, und dass zwischen den Innenlamellen benachbarter Zellen, wie es scheint, eine homogene, schleimige Flüssigkeit eingeschlossen ist. Die Bilder erwecken den Vergleich, man habe es mit einem in Schläuche gefüllten Schleime zu thun, dessen Wände durch den Inhalt jedoch nicht straff gespannt sind. An denjenigen Stellen des Endosperms, wo sich ausgesogene und intakte Zellen begegnen, ist der Unterschied in der Wandstruktur besonders auffällig. Der Lösungsprozess schneidet hier fast plötzlich im Längsverlaufe einer Zellwand ab. (Fig. 5a bei *a*.) Die Demarkationslinie des Lösungsprozesses schneidet in dieser Weise die einzelnen Endospermzellen oft in beliebiger Richtung durch. In der Figur halbirt dieselbe[3]) mehrere Zellen,

1) Dass sich die Cellulose des Foeniculum-Endosperms bei meinen Versuchen in Kupferoxydammoniak nicht löste, obwohl die Schnitte zweimal 24 Stunden in demselben belassen waren, kann nicht an dem Reagens gelegen haben, denn bei gleichzeitig mit verschiedenen anderen Reservestoffcellulosen angestellten Versuchen trat Lösung ein.

2) Das Kongoroth färbt übrigens auch die Plasmamassen der vom Lösungsprozess noch nicht ergriffenen Endospermzellen und zwar tief karminroth, während die Membranen zart rosenrothe Färbung annehmen. Gewisse körnige Bestandtheile des Plasmas bleiben bei der Behandlung mit Kongoroth völlig ungefärbt. (Vergl. die Tafel Fig. 1). Dass diese Bestandtheile jedoch zu den Reservestoffen zu rechnen sind, beweist ihre Abnahme und ihr völliges Verschwinden in den ausgesogenen Endospermzellen.

3) Sie ist punktirt gezeichnet.

deren Wände also zur Hälfte ihrer Reservecellulose beraubt sind, während in der anderen Hälfte die Zellwände intakt und stark lichtbrechend sind oder ihre mittleren Partien zu einer äusserst feinkörnigen Masse verflüssigten. (Fig. 5a bei *b*.) Es findet in diesem Falle ein Auflösungsprozess statt, welcher von der Mittellamelle aus nach den Innenlamellen hin fortschreitet, doch so, dass eben die Mittellamelle *zuerst* verschwindet. Bisher ist mir dieser Modus der Auflösung der Reservecellulose noch bei keiner anderen Pflanze begegnet, weil in allen anderen Fällen entweder die Mittellamelle allein oder ausser dieser noch die Innenlamelle erhalten blieb. Nach Feststellung dieser Thatsachen scheint es mir gerechtfertigt, die Auflösung der Reservecellulose von Foeniculum als eine „intralamellare Verflüssigung" zu bezeichnen.

Auf Grund dieser Resultate konnte man zu der Meinung hinneigen, es sei die Reservecellulose von Foeniculum vielleicht total verschieden von der Reservecellulose, welche wir bei den vorbesprochenen Monokotylen kennen gelernt haben. Diese Annahme würde noch eine Stütze darin finden, dass sich, wie oben hervorgehoben, die Wände des Endosperms nicht normal gegen Kupferoxydammoniak verhalten. Es wird aber im chemischen Theil der Arbeit gezeigt werden, dass die Reservecellulose von Foeniculum dieselben Derivate wie die besprochenen Monokotylen-Endosperme liefert.

II. Die Keimung „Amyloid" führender Samen.

Die in der Einleitung berührte Thatsache, dass in den ruhenden Samen statt der Reservecellulose auch Amyloid als Reservestoff gespeichert werden kann, liess es geboten erscheinen, wenigstens in einigen Fällen den Lösungsprozess des Amyloids bei der Keimung der betreffenden Samen zu verfolgen, um so mehr weil dieselben auch makrochemisch untersucht wurden, wobei sich herausstellte, dass mit der abweichenden Jodreaktion des Amyloids die makrochemischen Ergebnisse in Einklang stehen[1]).

1. Tropaelum majus L.

Von den Amyloid führenden Samen boten sich die von Tropaeolum als günstigstes Objekt dar; denn einerseits sind sie leicht in grösserer Menge zu beziehen, andererseits sind sie sehr leicht keimungsfähig und zeichnen sich auch durch relative Grösse aus. Aus diesem Grunde ist Tropaeolum auch wohl wiederholt zu Keimungsversuchen gewählt worden. Die hier in Betracht kommenden Fragen sind zuerst von THEODOR HARTIG[2]) gestreift worden.

Nachdem er die Entwickelung der Zellwände der Cotyledonen in fortlaufender Reihefolge beobachtet und die Bilder derselben[3]) nach Art einer Musterkarte zusammengestellt hatte, verfolgte er auch den Lösungsprozess der Zellwandverdickungen bei der Keimung. Nach ihm wird die Zellsubstanz verflüssigt, während die „Kambialwandung" (er meint damit die Mittellamelle) im Keimungsprozesse ungelöst bleibt, so dass in den ausgesogenen Cotyledonen nur

1) Vergl. auch im chem. Theil den Abschnitt „Zur Kenntniss des Amyloids", S. 76.
2) „Entwicklungsgeschichte des Pflanzenkeims", Leipzig 1858.
3) l. c. Tafel IV, Fig. 6.

diese angetroffen wird[1]). Dass eine Verflüssigung in der Zellwandung bei Tropaeolum-Samen nicht stattfindet, ist schon durch FRANK's Beobachtung widerlegt worden. Dieser Autor sagt gelegentlich der Besprechung der Keimung von Tropaeolum[2]) „Beim Keimen werden die sekundären Membranen der hypogäischen Cotyledonen wieder aufgelöst; die Auflösung erfolgt von der Innenseite der Membran aus. Zuerst erscheint dieselbe deutlich korrodirt und die Tüpfel sind weiter geworden". Ein näheres Eingehen auf die Art der Korrosion lag nicht im Rahmen der FRANK'schen Arbeit. Eine ähnliche Beobachtung, wie die FRANK'sche, findet sich meines Wissens nur noch bei GODFRIN. Derselbe giebt in der Eingangs erwähnten Arbeit[3]) für Coulteria tinct. H. et B. an: „Le rôle du protoplasma des cellules de l'albumen, dans la dissolution de ce tissu, est assez obscur, et je fais toutes réserves au sujet des observations suivantes. Il m'a semblé que le protoplasma contribue faiblement à la dissolution de la paroi cellulaire. Il respecte la coque qui l'entoure immédiatement, mais produit, au delà, des stries radiales irrégulières qui indiquent une perte de substance".

Es ist mir nicht zweifelhaft, dass „la coque qui entoure le protoplasma" das Innenhäutchen der Zellwand ist, von welcher aus die Korrosion („stries radiales") vor sich geht. Wie Coulteria verhält sich nach demselben Autor auch das Amyloid in den Cotyledonen von Schotia latifolia[4]).

Was nun meine eigenen Beobachtungen an den Samen von Tropaeolum betrifft, so kann ich hier Folgendes theils bestätigend, theils erweiternd mittheilen.

Auf Schnitten durch die Cotyledonen der ruhenden Samen sieht man die Wände der isodiametrischen Zellen ausserordentlich stark verdickt. Der Umriss jeder einzelnen Zelle ist polygonal (meist 5-, 6- oder 7eckig). Je zwei benachbarte Zellen stehen durch ein oder zwei Tüpfel mit einander in Verbindung[5]). Zwischen je zwei Tüpfeln erscheint die Verdickungsmasse als ein Pflock von elliptischem oder schwach bisquitförmigem Umriss (vergl. die Tafel Fig. 6 bei *a*). In den Ecken, an welchen sich je drei Cotyledonarzellen begegnen, gleicht die Verdickungsmasse gewissen Formen des Collenchyms, doch ist es eine auffällige und ausnahmslose Erscheinung, dass die Mitte dieser Verdickungsmasse von einem ziemlich weiten dreiseitigen Intercellularraume eingenommen wird. Bemerkenswerth ist auch, dass die Mittellamelle ohne vorhergehende Behandlung der Schnitte überall deutlich als eine feine, aber nicht doppelt contourirte Linie hervortritt. Wo nun bei keimenden Samen die Verdickungsmassen vom Lösungsprozess ergriffen werden, sieht man vom Lumen her zahllose dicht gedrängte „Korrosionskanäle" in die Zellwand eindringen (vergl. Fig. 6; in derselben sind die rechts oben noch intakt). Ein sichtbares Aufquellen, Schleimigwerden, Verflüssigen und dergleichen findet während dieses Auflösungsprozesses nirgends statt; dagegen dringen die Korrosionskanäle immer weiter gegen die Mittellamelle vor, so dass die intakten Membrantheile als Inseln von stark lichtbrechender Substanz erscheinen, welche von einer breiten

1) l. c. S. 37 und die cit. Figur.
2) FRANK, l. c. S. 177.
3) GODFRIN, l. c. S. 68.
4) GODFRIN, l. c. S. 86.
5) Mehr als 2 Tüpfel liegen selten in derselben Schnittebene.

Korrosionszone umgeben sind. (Vergl. Fig. 6a.) Endlich verschwindet die lichtbrechende Masse gänzlich, und man erhält Bilder, wie sie Fig. 6b veranschaulicht. Auffällig ist dabei das völlige Verschwinden der Tüpfel, ebenso die Thatsache, dass nicht wie bei den früher beschriebenen Fällen die Mittellamelle als zartes Häutchen zurückbleibt; man erkennt vielmehr, dass jede Zelle von einer zarten, aber deutlich doppelt contourirten Membran umschlossen ist. Die Wände benachbarter Zellen grenzen sich durch eine scharfe Linie von einander ab, welche als Mittellamelle gedeutet werden muss. (Vergl. hierzu Fig. 6c). Die Richtigkeit dieser Deutung bewies die folgende Reaktion: Bringt man Schnitte aus ruhenden Samen in 30 pCt. Salpetersäure[1]), so beginnt sofort die Amyloidsubstanz sich schichtenweise vom Lumen her zu lösen, bis schliesslich die Mittellamelle als eine äusserst feine Membran zurückbleibt, welche, soweit sie die Seiten der polygonalen Zellen bildet, als feine Linie erscheint. An den Ecken der Zellen bleiben aber die Grenzlinien der oben beschriebenen Intercellularräume deutlich als dreieckige Zwickel erhalten.

Dies Verhalten der Amyloidsubstanz gegen Salpetersäure veranlasste mich, nun auch die vorbesprochenen Reservecellulosen zum Theil in gleicher Weise zu behandeln. *Es stellte sich dabei heraus, dass sich die Reservecellulose sehr viel langsamer als das Amyloid in der Salpetersäure löst.*

Schnitte des Endosperms von Asparagus lieferten, nachdem sie zweimal 24 Stunden in der Salpetersäure gelegen hatten, dieselben Bilder, wie das völlig durch den Keimungsprozess ausgesogene Endosperm, und wie es Fig. 2c darstellt.

Ganz anders verhält sich dagegen das Endosperm von Phoenix zu derselben Salpetersäure. Nach ebenfalls zweimal 24 Stunden waren die Zellwandverdickungen so wenig lichtbrechend geworden, dass man sie (in Glycerin) kaum sehen konnte, aber ihre Struktur war völlig ungeändert. Mittellamelle und Grenzlinie der Lumina liessen sich bei starker Vergrösserung mit aller Schärfe verfolgen. Ausserordentlich scharf treten die Schliesshäute der Tüpfel noch nach der Behandlung hervor. Aus der Keimung von Tropaeolum mag noch eine Bemerkung Platz finden. Wo der Lösungsprozess des Amyloids noch nicht völlig beendet ist wie in Fig. 6b, durchsetzen feine dunklere Linien die restirenden Zellwände. Die Behandlung mit Jod beweist nun, dass diese dunklen Linien Amyloidstäbchen sind, welche im weiteren Keimungsprozess völlig verschwinden. (Fig. 6c.)

2. Impatiens Balsamina L.

Von Amyloid führenden Samen untersuchte ich in zweiter Linie die Samen von Impatiens Balsamina, deren Keimung, wie Seite 6 erwähnt wurde, erst vor Kurzem von HEINRICHER verfolgt worden ist. HEINRICHER hebt zunächst hervor, „dass die Zellen des Embryo, insbesondere jene der Cotyledonen mächtige Wandverdickungen aufweisen, welche als Reservestoff dienen, bei der Keimung wieder aufgelöst und aufgebraucht werden“[2]). Diese Beobachtung war um so werthvoller, als die Bedeutung der Dickwandigkeit von Cotyledonen bisher nur für Tropaeolum, Schotia, Lupinus und wenige andere Samen bekannt war.

1) Es ist dies die Salpetersäure vom p. G. 1, 185, welche die Ph. germ. ed. II vorschreibt.

2) HEINRICHER's Ausdrucksweise kann leicht zu einem Missverständniss führen, die Wandverdickungen finden sich *nur* in den Cotyledonen, die Gewebe der embryonalen Axe sind ausnahmslos dünnwandig.

HEINRICHER hat nun die Art des Lösungsprozesses, freilich mit wenig Glück, zu verfolgen versucht.

Will man über die, während der Keimung stattfindenden Veränderungen der Cotyledonarzellwände Aufschluss gewinnen, so ist natürlich die Untersuchung der ruhenden Samen unerlässlich, und diesen Weg hat auch HEINRICHER eingeschlagen. Jeder Cotyledo lässt an seiner morphologischen Oberseite unter der aus relativ niedrigen Zellen bestehenden Oberhaut 3—4 Lagen Pallisadenzellen erkennen, unter welchen bis zur Epidermis der Unterseite des Cotyledons ein massiges Schwammparenchym entwickelt ist. HEINRICHER giebt in Fig. 6 und 7 seiner Tafel korrekte Bilder beider Gewebeformen. Wenn ich in Fig. 7 und 7a die entsprechenden Bilder nach eigener Beobachtung gebe, so sollen dieselben nur zum Vergleich mit den gleich zu besprechenden Figuren dienen.

Nach dem Beginn der Keimung (wenn die Keimpflanze eben anfängt die Nebenwurzel am Grunde des hypocotylen Gliedes hervorzutreiben), findet man auf Längsschnitten durch die noch von der Samenschale umschlossenen Cotyledonen die Verdickungsschichten sowohl des Pallisadengewebes als auch des Schwammparenchyms in verschiedenen Stadien ihrer Zellwandauflösung, und zwar beginnt die Auflösung in der Nähe des hypocotylen Gliedes, von wo aus sie im weiteren Verlauf des Keimungsprozesses gegen die Spitze der Cotyledonen fortschreitet. Es zeigt sich dabei, dass die Auflösung der Verdickungsschichten in ganz ähnlicher Weise erfolgt wie bei Tropaeolum. Auch bei Impatiens tritt vom Lumen der Zelle her Korrosion auf, welche allmählich bis an die Mittellamelle fortschreitet. Nur sind die Korrosionszacken viel gröber als bei Tropaeolum. (Vergl. die Fig. 7b.) Die Korrosionsstacheln erinnern an diejenigen von Iris, doch bleibt bei Impatiens niemals die Innenlamelle erhalten. Ist der Korrosionsprozess sehr weit fortgeschritten, so trifft man auf Bilder, wie sie Fig. 7c darstellt. Das Gewebe besteht nur aus den zarten Mittellamellen, längs welchen zum Theil noch streckenweise äusserst feine senkrecht in das Lumen hineinragende „Korrosionsstacheln“ sichtbar sind. (Fig. 7c bei *a*.) Wo der Schnitt derartige Zellwände in der Flächenansicht zeigt (wie in der mit *b* bezeichneten Reihe der Pallisadenzellen in unserer Figur), sehen die Wände äusserst fein punktirt aus wie die Siebplatten mancher Siebröhren und Gitterzellen. Endlich verschwinden auch diese Reste der Verdickungsschichten, so dass ein äusserst zartwandiges Gewebe (*c* in der Fig. 7c und die obere Partie der Fig. 7b) zurückbleibt. Diesen Zustand hat auch HEINRICHER beobachtet, es ist ihm aber nicht gelungen, den Lösungsprozess durch „Korrosion“ zu erkennen. Er sagt (l. c. S. 13) „eine verfolgbare Veränderung in der Substanz der Verdickungen, wie sie FRANK für die hypogäischen Cotyledonen von Tropaeolum majus beschrieben hat, und die ich in der angezeigten zweiten Abhandlung auch besprechen will, ist bei Impatiens Balsamina nicht zu beobachten“. HEINRICHER giebt vielmehr an, es gewähre den Eindruck, „als ob ein langsames Abschmelzen der Verdickungen erfolgen würde“. Er giebt dazu eine Figur, welche ich zum Vergleich kopirt habe. (Vergl. Fig. 7d.) In derselben sollen die Verdickungen an den Ecken der einen Seite schon verschwunden sein, während sie auf der entgegengesetzten anscheinend intakt geblieben sind. Er meint dabei offenbar die von mir durch einen Pfeil bezeichnete Stelle und bezieht sich auch in einer Anmerkung[1]) auf die Beobachtung von

1) l. c. S. 13.

SACHS, dass bei der Dattel die Erweichungsgrenze bisweilen die Zelle so schneidet, dass diese theilweise hornig bleibt. Dass eine Korrosion bei Impatien statthat, ist HEINRICHER also völlig entgangen, woraus auch seine Angabe von dem gegentheiligen Verhalten von Tropaeolum resultirt. Interessant ist dagegen HEINRICHER's Angaben über das Verhalten der Wandverdickungen von Impatiens zu Salpetersäure. Dieselbe löst die Wandverdickungen völlig auf, so dass in den Schnitten nur die Mittellamelle zurückbleibt[1]). Auch ich habe dieses Verhalten von Impatiens zu 30 pCt. Salpetersäure beobachtet, ohne seiner Zeit von HEINRICHER's Beobachtung Kenntniss gehabt zu haben. Ich verfiel auf die Salpetersäurereaktion (vergl. S. 26) durch die Angabe von TH. HARTIG[2]), welcher die Lösung von Verdickungsschichten bei Tropaeolum mit Hülfe von salpetersaurem Quecksilberoxydul herbeiführte. Wegen der leichten Zersetzbarkeit dieses Salzes mit Wasser, zog ich es vor, mit Salpetersäure direkt zu arbeiten; ich nahm an, dass die Wirkung des Quecksilbersalzes nicht seiner Base, sondern seiner Säure zuzuschreiben sei.

III. Cyclamen europaeum L.

Die Samen sind wiederholt von älteren und neueren Forschern morphologisch und anatomisch untersucht worden. Auch die Keimungsgeschichte war wiederholt Gegenstand der Forschung. Dass wir bei Cyclamen einem sehr stark entwickelten hornigen Endosperm begegnen, welches analog den Cotyledonen von Tropaeolum, Impatiens u. A. Amyloid führt, ist schon aus den Untersuchungen H. VON MOHL's zu entnehmen, welcher die Blaufärbung mit einer Jodlösung bei Cyclamen coum, neapolitanum, sowie einiger anderer Primulaceen (Primula inflata, Androsace septentrionalis und Artisia crenulata) beobachtete[3]). Dass sich aller Wahrscheinlickeit nach alle Primulaceen in gleicher Weise gegen Jod verhalten, ist von FRANK[4]) ausgesprochen worden. Er fand jenes Verhalten bei Primula officinalis, Anagallis arvensis, Glaux maritima und Samolus Valerandi. Das gleiche Verhalten hat GRESSNER bei Cyclamen europaeum beobachtet. GRESSNER giebt nämlich eine ausführliche Keimungsgeschichte von Cyclamen[5]) und weist in derselben nach, dass die verdickten Wände des Endosperms während des Keimungsprozesses aufgelöst werden, dass mithin das Amyloid[6]) einen Reservestoff für den Keimling repräsentirt. Bezüglich der Veränderungen, welche das Endosperm während der Keimung erfährt, giebt Verfasser an, sie seien im Allgemeinen „jenen analog, welche SACHS bei der Keimung von Phoenix dactylifera und Allium Cepa beobachtete". Nun ist dieser Ausdruck zum mindesten inkorrekt, denn zu den Veränderungen des Endosperms gehören zweifellos auch die Veränderungen der verdickten Zellwände. SACHS hat aber, wie oben erwähnt worden ist, die Lösung des Endosperms von Allium überhaupt nicht verfolgen können und bei Phoenix gelang es ihm nicht den Modus der Auflösung festzustellen. Aus unserer Dar-

1) l. c. S. 6.
2) l. c. S. 143.
3) Vermischte Schriften, S. 340.
4) l. c. S. 178.
5) Bot. Zeitg. 1874, S. 801 ff. Daselbst auch die ältere Literatur über die Keimung von Cyclamen.
6) GRESSNER wendet zwar nirgends diese Bezeichnung an.

stellung geht aber hervor, dass sich das Endosperm von Phoenix in anderer Weise löst, als das von Allium. Es konnte also im günstigsten Falle Cyclamen mit Phoenix *oder* mit Allium übereinstimmen. Im weiteren Verlauf seiner Arbeit sagt GRESSNER, dass die Lösung und Aufsaugung des Zellstoffs nicht mit geometrischer Regelmässigkeit von innen nach aussen in den einzelnen Schichten der Zellwand vorwärts schreite. „Vielmehr ist an *einer* Stelle die Aufsaugung des Zellstoffes weiter vorgerückt, an einer andern weniger weit. So sieht man denn, dass in der innersten Schicht neben den nur noch aus Intercellularsubstanz bestehenden Zellhäuten noch verdickte mit Jod und Schwefelsäure sich blaufärbende, also Zellstoff führende Wände vorkommen". Nähere Angaben liegen von GRESSNER über den Lösungsmodus nicht vor, er hebt nur noch hervor, dass die ausgesogenen Zellwände in der Nähe des Cotyledo ausserordentlich dünn seien und die primären Wandungen der veränderten Endospermzellen darstellen[1]). In seinem Resumé sagt er dann, dass „eine von innen nach aussen fortschreitende, durch Erweichung und Verdünnung der Wände charakterisirte Resorption des Zellstoffes zu bemerken sei, welche schliesslich nur die aus Intercellularsubstanz bestehende primäre Wandung übrig lasse".

Da der von GRESSNER beschriebene Auflösungsmodus der Zellwandverdickungen nicht sonderlich klar und durchsichtig ist, erschien es mir gerathen, denselben noch näher zu verfolgen.

Der Bau des Endosperms des ruhenden Samens von Cyclamen erinnert lebhaft an den von Iris pseudacorus. Die stark lichtbrechenden, sehr dicken Wände des Cyclamen-Endosperms sind von nur relativ wenigen Tüpfeln durchsetzt, welche zum Theil weiter sind als diejenigen von Iris. Bisweilen sind Wände, namentlich solche, welche der Umrisslinie des Samens parallel laufen, überhaupt gar nicht verdickt. Bei der Keimung treten nun wie bei Iris zuerst ausserordentlich feine „Korrosionskanäle" auf, die vom Lumen der Zellen gegen die Mittellamelle gerichtet sind, wie Fig. 2b für Iris zeigt. Ist die Korrosion der inneren Membranschicht vollendet, so sieht man, freilich abweichend von Iris, die Innenlamelle intakt erhalten, sie umgrenzt einen hyalinen Saum, welcher bis zur noch intakten Amyloidwand reicht. Die Bilder entsprechen dann der von Iris gegebenen Fig. 4a. Bald darauf dringen neue „Korrosionskanäle" gegen die Mittellamelle vor, welche aber kräftigere und weniger zahlreiche „Korrosionsstacheln" zwischen sich lassen. Diese treten nach Behandeln der Schnitte mit Kongoroth in überraschender Deutlichkeit hervor, wie etwa Fig. 4b von Iris veranschaulicht. Von oben betrachtet erscheinen die Stacheln als regellos zerstreute, ungleich starke, nicht völlig runde Pünktchen. Wo nun die Amyloidsubstanz völlig verschwunden ist, sieht man ausser der Mittellamelle die resistente Innenlamelle, welche stellenweise die Innenkontur der Zellen mit voller Schärfe wiedergiebt. Sie markirt selbst die Umrisse der ehemaligen Tüpfelkanäle, bis endlich die Zerdrückung der Wandreste durch das Vordringen des als Saugorgan dienenden Cotyledo eintritt und die Bilder undeutlich macht. Wäre die Innenlamelle bei Cyclamen nicht resistent, so wäre der Lösungsprozess völlig identisch mit dem, welcher sich bei Iris abspielt. In der That zeigt aber Cyclamen „intralamellare" Auflösung der Zellwandverdickungen unter

1) Vergl. l. c. S. 810.

gleichzeitiger Bildung von „Korrosionsstacheln“. Cyclamen verhält sich also typisch wie Allium, obwohl die Bilder lebhaft an Iris erinnern.

Hier mag noch auf einen Punkt hingewiesen sein. Abgesehen davon, dass Cyclamen eine dicotyle Pflanze ist, ist ja ihr Endosperm aus *Amyloid* aufgebaut, wärend das monocotyle Allium *Reservecellulose* (wie auch Iris und die übrigen untersuchten Monocotylen) speichert. Endlich mag das Verhalten von Cyclamen zu Salpetersäure erwähnt werden. Es ist bereits die ausserordentlich leichte Löslichkeit des Amyloids in derselben von mir betont worden, Cyclamen bestätigt diese Beobachtung aufs Schlagendste. Schon wenige Sekunden der Einwirkung genügen, um die Mittellamellen scharf hervortreten zu lassen, dann verschwindet das Amyloid, indem seine Lösung von der Mittellamelle aus nach beiden Seiten gegen die Innenlamellen fortschreitet. Nach kaum einer Minute ist das Amyloid gänzlich verschwunden, nur Mittel- und Innenlamelle deuten als zarte Linie das Zellengerüst an, um bald darauf ebenfalls in Lösung zu gehen. Die totale Lösung ist immer nahe der Testa zuerst beendet, während beim normalen Keimungsprozesse die Lösung naturgemäss in der Nähe des Cotyledo, d. h. im centralen Theile des Endospermgewebes beginnt.

IV. Paeonia officinalis L.

Unter den Amyloid führenden Samen verdienen noch die von Paeonia officinalis eine kurze Besprechung, obwohl es mir bisher nicht gelungen ist, die Keimungsgeschichte, speziell den Auflösungsprozess des Endosperms zu verfolgen. Die von mir zur Keimung ausgelegten Samen konnte ich trotzdem ich die Methode mehrfach abgeänderte nicht zum Austreiben bringen. Dass die Endospermzellwände von Paeonia aus Amyloid bestehen, ist bereits von BERG in seinem Atlas der officinellen Gewächse (Bd. I, S. VII*a—b*) angegeben worden. Näheres ist mir aber über das Verhalten der Zellwände des Paeonia-Endosperms nicht bekannt geworden. MARLOTH führt zwar Paeonia officinalis in der Reihe derjenigen Samen auf, deren Endosperm reichlich, aber *nicht* dickwandig ist[1]); doch ist diese Angabe nicht zutreffend. Bringt man nämlich Schnitte aus den ruhenden Samen, ohne sie benetzt zu haben, in absoluten Alkohol, so erscheinen die Endospermzellen unregelmässig verzerrt, ihre Wände zeigen theils stark dickwandige, theils wenig verdickte Partien, immer aber sind sie ausserordentlich stark lichtbrechend. Eine Mittellamelle ist nirgends sichtbar. (Fig. 8.) Lässt man aber nun zu den Schnitten Wasser hinzutreten, so dehnen sich die Zellen unter den Augen des Beobachters in überraschender Weise aus. Die eben noch gekrümmten Wände strecken sich in Folge der Wasseraufnahme derart, dass alle Zellen polygonal werden und von geradlinigen Wänden begrenzt erscheinen. Besonders deutlich werden nun jetzt die Mittellamellen, welche ein polygonales Maschennetz von ausserordentlicher Schärfe und Feinheit bilden. (Vergl. Fig. 8a.)

Bei der Behandlung mit Salpetersäure tritt sofort starke Quellung ein, um bald darauf zu einer Lösung der Zellwand zu führen. Nach zweimal 24stündigem Liegen der Schnitte in der 30prozentigen Salpetersäure konnte ich nur noch, abgesehen von Plasmaresten und Tropfen fetten Oeles, die zarten Mittellamellen beobachten.

1) l. c. S. 248.

Anhang.

Paris quadrifolia L.

Obwohl es nicht streng in den Rahmen dieser Arbeit gehört, mag hier noch auf den interessanten Bau der Samen von Paris quadrifolia aufmerksam gemacht werden, der in anatomischer Hinsicht von dem aller übrigen Samen der Smilaceen abweicht. Die Samen von Paris sind aber auch gegenüber allen anderen Samen, die Kohlenhydrate als Reservestoff in Form von Zellwandverdickungen führen, dadurch ausgezeichnet, dass sie neben der Reservecellulose im Zelllumen Stärke als Reservestoff enthalten, ein Fall, der bisher, wie aus der Litteratur ersichtlich ist, noch nicht beobachtet worden ist. Nicht nur dass die Samen von Paris sich abweichend gegen alle von mir untersuchten Samen der Smilaceen, auch den in dieser Arbeit nicht erwähnten, verhalten, zeigen dieselben unter allen Reservecellulose führenden Samen eine eigenthümliche Verschiedenheit darin, dass neben der Reservecellulose, die eigenartige, collenchymatische Verdickungen der Endospermzellen bildet, noch Stärke im Lumen so reich gespeichert wird, dass der gesammte Zellraum von der Stärke erfüllt wird; das Plasma ist nur in verschwindend geringer Menge vorhanden.

Ueberall wo der Reservestoff in Form verdickter Zellwände auftritt, fehlt die Stärkespeicherung und umgekehrt; Paris führt Stärke und zu gleicher Zeit Reservecellulose.

Endlich ist noch das Verhalten des Paris-Endosperms gegen Kupferoxydammoniak bemerkenswerth. Obgleich wir hier kein Amyloid vor uns haben (Amyloid ist ja in Kupferoxyd-Ammoniak nicht löslich), vermag das Kupferoxyd-Ammoniak auch hier keine Lösung herbeizuführen, eine Eigenschaft, welche das Endosperm von Paris nur noch mit dem von Foeniculum (vergl. S. 24) theilt.

II. Chemischer Theil.

Wir haben in der bisherigen Darstellung die Frage nach der Bedeutung und dem Verhalten der Reservecellulose und des Amyloids vom physiologischen Gesichtspunkte aus erörtert. So interessante Ergebnisse diese Untersuchungen geliefert haben, so würden sie uns doch nicht genügen können, denn eine vollkommene Aufhellung der Natur der Reservecellulose ist nur möglich, wenn man mit der mikroskopischen Untersuchung die makrochemische verbindet. Die mikrochemischen Untersuchungsmethoden sind wohl im Stande, das Vorhandensein verschiedener Körper festzustellen, aber ehe nicht auf makrochemischem Wege die Natur des betreffenden Körpers erkannt ist, sind jene Methoden ausser Stande, hierüber irgend etwas auszusagen. Da meistens von den Botanikern zwischen der Reservecellulose und der gewöhnlichen Cellulose, etwa der Baumwolle, dem beliebten Ausgangsmaterial für die Cellulosestudien des Chemikers, kein weiterer Unterschied gemacht wurde, als dass jene fast reine Cellulose sein solle, so lag hierin für den Chemiker keine Aufforderung, diesen Körper einer näheren Prüfung zu unterziehen; wie man denn überhaupt das Gebiet der Cellulose in der Chemie als ein sehr vernachlässigtes betrachten

muss. Die augenscheinlich vorhandene Schwierigkeit, auf dem Gebiete der Kohlenhydrate erfolgreich vorzudringen, musste sich besonders für die Cellulosegruppe geltend machen, wo nicht einmal wie bei den Zuckerarten der mögliche Vortheil auf praktischen Gewinn zur Untersuchung anreizte. Erst in neuerer Zeit wendet man auch diesem Gebiete mehr Aufmerksamkeit zu und zwar weniger von der theoretisch-chemischen Seite als von der Seite jenes Grenzgebietes der Chemie und Botanik, das man wohl als „Pflanzenchemie" bezeichnen kann. Trotz des gesteigerten Interesses, welches man also der Cellulose entgegenzutragen beginnt, hat sich die chemische Untersuchung doch noch nicht auf die Reservecellulose der Samen erstreckt. Demnach fehlt es vollständig an Angaben über die chemische Natur der Reservecellulose, und wollte ich über dieselbe Aufschluss erhalten, so musste ich selbst die vorhandene Lücke ausfüllen und die makrochemische Untersuchung unseres Körpers vornehmen.

Den Ausgangspunkt für meine Untersuchung bildete naturgemäss die Erörterung der Frage, ob die Reservecellulose sich in gleicher Weise isoliren lasse, wie die Cellulose aus Hölzern und anderen pflanzlichen Rohstoffen, ob mithin die bekannten Methoden der „Rohfaserbestimmungen" sich auch auf die Reservecellulose mit Recht übertragen lasse, wie es stillschweigend von anderer Seite geschehen ist. Ich versuchte dementsprechend die Reservecellulose aus denjenigen Samen zu gewinnen, deren Kenntniss zu der Zeit, als ich diese Arbeit in Angriff nahm, am weitesten gefördert war und benutzte deshalb die Samen von Phoenix dactylifera und Allium Cepa, deren Keimungsgeschichten durch SACHS bekannt geworden waren[1]). Dieselben boten sich auch aus dem Grunde als ein bequemes Ausgangsmaterial dar, weil man ihre Keimung unter gewöhnlichen Umständen erreichen kann und die Beschaffung grösserer Mengen dieser Samen auf keinerlei Schwierigkeiten stösst.

Von den bis jetzt bekannten Methoden schien das für diese Untersuchungen von HOFFMEISTER[2]) empfohlene Verfahren chlorsaures Kali mit Salzsäure und Auswaschen mit Ammoniak am geeignetsten. Es sollten durch diese Behandlung, welche übrigens nur eine Modifikation des SCHULZE'schen Verfahrens ist, die inkrustirenden Substanzen und die Mittellamellen beseitigt werden, so dass man reine Cellulose hätte erhalten sollen. Es zeigte sich jedoch bald, dass diese Voraussetzung eine irrige war.

Es wurde die fein gemahlene Substanz der Reihe nach mit Aether, Alkohol und Wasser zur Entfernung von Fett, Phlobaphenen, Zucker, Eiweisskörpern und gummösen Substanzen behandelt und dann mit der gleichen Menge Salzsäure vom sp. G. 1,05 und der halben Menge chlorsauren Kalis 24 Stunden bei Zimmertemperatur digerirt. Darauf wurde mit destillirtem Wasser verdünnt, durch ein Leinensäckchen filtrirt und bis zur Neutralität mit Wasser nachgewaschen. Zuletzt wurde mit zweiprozentigem Ammoniak extrahirt, und zwar sollte dies der Vorschrift gemäss so lange geschehen, bis nichts mehr in Lösung ging. *Sowohl bei Phoenix wie bei Allium ist es nicht gelungen, diesen Punkt zu erreichen.* Bei Phoenix wirkte das Ammoniak langsamer Cellulose lösend als bei Allium. Wurde nämlich mit Ammoniak nur ausgewaschen, so ging anfäng-

1) Bot. Zeitung 1862 und Bot. Zeitung 1863.

2) Die Rohfaser und einige Formen der Cellulose. Landw. Jahrb. (Thiel) Bd. XVII H. 2 u. 3, S. 239—265. 1888.

lich mehr in Lösung als später. Wurden jedoch die Samen längere Zeit mit Ammoniak macerirt, so fielen durch Alkohol, Essig- oder Schwefelsäure im Ammoniakauszuge immer noch bedeutende Mengen. Wenngleich das Gelöste sichtlich immer mehr und mehr abnahm, so wurde durch die oben erwähnten Fällungsmittel immerhin noch mässig viel gefällt.

Bei Allium wurde beobachtet, dass sobald Ammoniak zu der von der Säure befreiten, gelbbraun gefärbten Masse zugegeben wurde, dieselbe sich wieder schwarzbraun färbte, und was von grösserer Bedeutung ist, zu einer colloidalen Masse aufquoll, wodurch die Filtration äusserst erschwert wurde. Wie bei Phoenix konnte auch hier der Punkt nicht erreicht werden, dass durch Ammoniak nichts mehr gelöst wurde, nur schien die Allium-Cellulose nach der Behandlung mit Salzsäure und chlorsaurem Kali viel leichter durch Ammoniak gelöst zu werden, als dies bei Phoenix der Fall war. Bei Phoenix waren die Niederschläge des Ammoniakauszuges braun, bei Allium schwarzbraun. Diese Färbungen rührten augenscheinlich aus den entsprechend gefärbten Samenschalen her, während die Niederschläge offenbar aus der Endospermcellulose stammten, die eben durch die Behandlung mit chlorsaurem Kali und Salzsäure chemisch so verändert wurde, dass Ammoniak sie löste, während dieselbe ohne diese vorgängige Behandlung in Ammoniak unlöslich ist.

So stellte sich heraus, dass auf diese Weise aus den Samen von Phoenix und Allium keine Cellulose zu isoliren war. *Zugleich wies dieses Verhalten deutlich darauf hin, dass hier keine gewöhnliche Cellulose vorliegt,* denn bei anderen Geweben gelingt die Celluloseisolirung nach der angewandten Methode, wenngleich kleine Verluste nicht zu vermeiden sind.

Dieses Verhalten zwang nun zur Wahl einer anderen Form des Ausgangsmateriales. Es wurden die Samen, da sie ja ihrer Hauptmasse nach aus Cellulose bestehen, *direkt* zur Untersuchung verwandt, und da die weitere gleichzeitige Bearbeitung zweier Samen nebeneinander sich als unpraktisch erwies, wurde zunächst die Natur der Cellulose an einem Samen und zwar an einem Palmsamen näher studirt. Zu diesem Zwecke wurde jedoch nicht Phoenix, sondern Phytelephas gewählt. Dies Material ist in Form von Drehspähnen in Steinnussknopffabriken nicht nur in beliebiger Menge, sondern für die Untersuchung in sehr brauchbarem Zustande zu haben. Die Benutzung der Samen von Phytelephas schien darum erlaubt, weil diese Samen denen der Dattel gleich gebaut sind, und weil vermuthlich die Zellwände ihres Endosperms die nämliche chemische Zusammensetzung haben, wie die des Phoenixendosperms, was sich denn auch später bestätigt hat[1]).

Die Spähne von Phytelephas wurden zunächst einer genaueren chemischen Untersuchung unterworfen, obgleich mehrere Analysen derselben bereits vorhanden sind, die jedoch von einander theilweise bedeutend abweichen.

Die grössten Abweichungen und Unrichtigkeiten finden sich in den vorliegenden Angaben über die Kohlenhydrate. So scheinen die ältesten Rohfaser-

---

1) Ein näheres Eingehen auf die anatomischen Verhältnisse ist nicht erforderlich. Betreffs Phoenix ist im botanischen Theil dieser Arbeit das Nähere angegeben, und Abbildungen des ganz ähnlich gebauten Endosperms von Phytelephas findet man bei TH. HARTIG (Entwicklung des Pflanzenkeims), bei LÜRSSEN (Grundzüge d. Botanik S. 36), sowie bei MÖLLER (Mikroskopie der Nahrungsmittel). Neuerdings gab auch DRUDE eine Abbildung in Engler-Prantl, die natürl. Pflanzenfam. II, S. 23.

bestimmungen von DOUGLAS-MACLAGAN und CONNELL[1]), welche 76,5 resp. 81,34 pCt. angeben, und die jüngst publizirten Untersuchungen von G. LOGES[2]), welcher Rohfaser und Cellulose mit 75,65 pCt. anführt, mit dem anatomischen Bau in besserem Einklang zu stehen als die Analysen von JOHNSON[3]), HOLDEFLEISS[4]), der Versuchsstation zu Kiel (zwei Untersuchungen)[5]) und von LIEBSCHER[6]). Nach den letzeren Autoren ist der Cellulosegehalt der Phytelephassamen 7,5; 20,95; 32,43; 16,2 und 5 pCt. Der geringe Rohfasergehalt in diesen Analysen scheint mit Ausnahme von LIEBSCHER Niemandem aufgefallen zu sein. Dieser hat sich die Spähne unter dem Mikroskop angesehen und auf den Widerspruch zwischen der geringen Menge Rohfaser und den stark verdickten Zellwänden hingewiesen. Er erklärt sich denselben, indem er annimmt, dass hier Cellulose in reinster Form, aber in einer leichtlöslichen Modifikation vorliege, wie ja die sehr beträchtlichen Mengen an stickstofffreien Extraktivsubstanzen der betreffenden Analysen zeigen (68,57; 53,56; 44,44; 59,35; 62,28 pCt.). So ergiebt sich aus diesen Analysen, dass zur Bestimmung der Rohfaser resp. der Cellulose aus den Spähnen der Steinnuss die WEENDER-Methode[7]), nach welcher die Bestimmungen ausgeführt worden sind, nicht anwendbar ist. Hierin darf man eine Bestätigung der Ansicht erblicken, dass man nicht ohne weitere Prüfung mit derselben Methode in allen Geweben, welcher Natur sie auch sein mögen, Cellulose bestimmen kann[8]).

Dass dieser Mangel nicht nur der WEENDER-Methode allein anhaftet, sondern in gleichem Masse auch bei dem Verfahren der Cellulosebestimmung mit Hülfe des SCHULZE-HENNEBERG'schen Gemisches hervortritt, kann nicht bezweifelt werden, denn ebenso wie die Samen von Phytelephas bei Anwendung der WEENDER-Methode, verhalten sich noch eine Reihe anderer Samen mit dickwandigem Endosperm, wenn man deren Cellulosegehalt mit Hülfe des SCHULZE'schen Gemisches bestimmt. Es geht dies wenigstens aus einer Mittheilung von DRAGENDORFF[9]) hervor. Als derselbe verschiedene brasilianische Kaffeesorten von einer Reihe seiner Schüler untersuchen liess, schwankten die nach der SCHULZE'schen Methode erhaltenen Zahlen für die Menge des Zellstoffs zwischen 8,68 und 13,03 pCt. Vergleicht man hiermit das mikroskopische Bild der Samen, so wird man zu der Ansicht gezwungen, dass durch das eingeschlagene Verfahren bedeutende Mengen von dem Zellstoff in Lösung gegangen sein müssen. Diese Auffassung ist um so weniger von der Hand zu weisen, als LEVESIE[10]) bei der Untersuchung einer Reihe anderer Kaffeesorten nach der-

1) CONNELL über die Taguanuss oder das veget. Elfenbein. Journal für prakt. Chemie 1844, Bd. 32.

2) Landwirthschaftl. Wochenblatt für Schleswig-Holstein Nr. 16 u. 22, 1886.

3) Jahresbericht für Agriculturchemie 1880, S. 413.

4) Landwirth, 1879, Nr. 39.

5) Landwirthaftl. Wochenblatt für Schleswig-Holstein 1884, Nr. 44, S. 558.

6) Journ. für Landwirthschaft XXXIII, 1885.

7) Diese besteht darin, dass eine bestimmte Menge der zu untersuchenden Substanz (auf 30 *g* etwa 2 Liter Flüssigkeit) nach einander mit verdünnter Schwefelsäure von 1,25 pCt. Gehalt, Wasser, verdünnter Kalilauge (2,5 pCt.) und wiederum mit Wasser ausgekocht wird. Der mit Wasser, Alkohol und Aether ausgezogene Rückstand ist nicht ganz reine Cellulose; dieselbe enthält vielmehr noch mehr oder weniger Aschenbestandtheile und Stickstoff.

8) Vergl. A. WIELER: Analysen der Jungholzregion von Pinus sylvestris und Salix pentandra nebst einem Beitrage zur Methodik der Pflanzenanlyse. Landw. Versuchsstation 32, S. 363.

9) Analysen verschiedener Kaffeesorten aus Brasilien. Pharm. Zeitschrift für Russland 1885.

10) Beiträge zur Chemie des Kaffees. Arch. d. Pharm. Bd. VIII 1876, S. 298.

selben Methode 29,9—34,4 pCt. Zellstoff gefunden hatte. Es fehlt freilich an einem Massstabe zur Beurtheilung, ob selbst diese Zahlen den ganzen Cellulosebetrag angeben.

Aehnlichen Fällen, aus welchen die Unzulänglichkeit der Methoden zur quantitativen Bestimmung des Zellstoffs hervorgeht, wird man in der Litteratur mehrfach begegnen. Hier soll nur noch auf die Widersprüche hingewiesen werden, welche die Rohfaserbestimmung der Samen der Oelpalme darlegen. Auch bei den Samen dieser Palme finden wir dickwandiges Endosperm, wenn auch nicht in dem Masse wie bei Phytelephas und Phoenix. Es liegen zahlreiche Bestimmungen über Rohfaser dieser Samen vor, da dieselben als Palmkuchen und Palmkernmehl ein wichtiges Futtermittel bilden. Mit der auf den landwirthschaftlichen Versuchsstationen üblichen Methode zur Bestimmung der Rohfaser mit der WEENDER-Methode, werden 14,5—17,7 pCt. Rohfaser gewonnen. HOFFMEISTER[1]) hat gezeigt, dass, wenn man die Cellulose nach seiner Methode, nämlich mit Salzsäure und chlorsaurem Kali und Nachwaschen mit Ammoniak gewinnt, man 38,5—48 pCt. Cellulose erhält. Ob diese immerhin bedeutende Differenz bei dem HOFFMEISTER'schen Verfahren (38,5—48 pCt.) nicht auf die mangelhafte Methode zu schieben ist und nicht, wie der Verfasser will, in verschiedenen Sorten seinen Grund hat, mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls geht aus dem Vergleich der nach der WEENDER- und HOFFMEISTER'schen Methode erhaltenen Zahlen hervor, dass die Samen der Oelpalme in den Löslichkeitsverhältnissen ihrer Cellulose sich denen der Steinnuss analog verhalten. Das abweichende Verhalten der Cellulose der Oelpalmsamen von übriger Cellulose spricht sich ferner in den Untersuchungen von HOFFMEISTER in dem Verhalten gegen destillirtes unter Druck auf mehr als 100° gebrachtes Wasser aus, indem hierbei bereits ein Theil der Cellulose gelöst und in Zucker umgewandelt wird. Wenn auch schon nach den Angaben desselben Autors bei Siedetemperatur ein Theil der Cellulose gelöst werden soll, so ist doch zu beachten, dass hier das gewonnene Kohlenhydrat sehr wohl *vorgebildet* als Inhaltsstoff der Zellen vorhanden gewesen sein könnte, was um so wahrscheinlicher ist, als sich auch in den Endospermzellen anderer Palmsamen, wie später noch gezeigt werden wird, lösliche Kohlenhydrate vorfinden[2]).

Wendet man nun das von HOFFMEISTER modifizirte SCHULZE'sche Verfahren mit auf Phoenix- und Alliumsamen an, so erhält man analoge Resultate wie mit den anderen Methoden. Indem hier auf das bereits oben mitgetheilte qualitative Verhalten hingewiesen sein mag, soll noch kurz erwähnt werden, dass bei einer quantitativen Bestimmung, die, soweit bis es mir genügend schien, durchgeführt wurde, bei Phoenix 58,61 pCt. und bei Allium 9,49 pCt. als Cellulose bestimmt wurden. Bei Allium bestand diese Masse jedoch vorwiegend aus Samenschalen. Wenngleich die Cellulose von Phoenix- und Alliumsamen in Salzsäure und chlorsaurem Kali bedeutend löslich ist, so

1) HOFFMEISTER l. c. S. 243.

2) Wenn HOFFMEISTER, durch dasselbe Verfahren, d. h. mit überhitztem Wasser, die Löslichkeit der in der Kleie enthaltenen Rohfaser nachzuweisen, versuchte, so ist diese Bestimmung völlig unzulänglich, weil ja die Kleie etwa 50—60 pCt. Stärke enthält. Ausserdem enthalten die Gramineenfrüchte nicht zu vernachlässigende Mengen von Sinistrin, wie später näher angegeben werden soll.

scheint der Grad der Löslichkeit sehr verschieden zu sein, was vielleicht im physikalischen Verhalten begründet sein kann[1]).

Wie aus den Angaben von LIEBSCHER[2]) und LOGES[3]) hervorgeht, lassen sich in der Steinnuss nach Ersterem noch zwei, nach Letzerem drei lösliche Kohlenhydrate nachweisen. LIEBSCHER konstatirte neben etwas Zucker 10 bis 12 pCt. Dextrin, während LOGES 7 pCt. leicht lösliche Kohlenhydrate angiebt, die sich aus Glycose (Zucker) 1,6, Pektinstoff (Pflanzenschleim) 2,98, sowie Dextin 2,42 pCt. zusammensetzen.

In welcher Weise diese Kohlenhydrate identifizirt worden sind, giebt weder LIEBSCHER noch LOGES an.

Da mich diese Angaben nicht befriedigten, so schien es mir angezeigt, auch auf die Natur der *löslichen* Kohlenhydrate näher einzugehen. Um diese Absicht auszuführen, wurde die Steinnuss zunächst einer quantitativen chemischen Prüfung unterzogen. Dieselbe ergab folgende Werthe:

Wasser	11,04	
Protein	3,1—4,2[4])	
Fett	1,51	
Durch heisses Wasser extr. (exclus. Zucker)	7,5	
Zucker	0,490	
	23,64 resp.	24,74
Asche und Cellulose	76,36 „	75,26
Summa	100,00	100,00

Nimmt man ca. 1,3 pCt. Asche an, was ungefähr dem Durchschnitt der bekannten Analysen entspricht, so bleiben immer etwa 74—75 pCt. für Cellulose übrig, was mit den Analysen von DOUGLAS-MACLAGAN, CONNELL und LOGES befriedigend übereinstimmt, aber nicht mit den ebenfalls auf Seite 743 bereits erwähnten Untersuchungen von JOHNSON, HOLDEFLEISS, LIEBSCHER u. A.

Um nun die Natur des durch heisses Wasser extrahirten, sowohl von LIEBSCHER als LOGES für Dextrin gehaltenen Kohlenhydrates festzustellen, wurde dasselbe durch wiederholtes Lösen in Wasser und Fällen durch Alkohol gereinigt. Getrocknet stellte der Körper eine gelblichbraune, gummöse Masse dar. In wässriger Lösung drehte dieselbe die Ebene des polarisirten Lichtes nach *links* und reducirte FEHLING'sche Lösung in der Hitze, dem Anscheine nach, etwa wie Dextrin. Schon aus dem optischen Verhalten ging hervor, dass der vorliegende Körper kein Dextrin sein konnte. Eine weitere Bestätigung für diese Ansicht ergab sich daraus, dass die Substanz bei der Inversion *keine Dextrose* lieferte. Wurde sie eine Stunde mit 2 pCt. Schwefelsäure im Wasserbade erhitzt, so ward ein FEHLING'sche Lösung in der Hitze reducirender rechtsdrehender Zucker erhalten, der schon in der Kälte mit Phenylhydrazin ein weisses schwer lösliches Hydrazon vom Schmelzpunkt 185—186° liefert. Die Bildung dieser charakteristischen Verbindung beweist, dass durch heisses Wasser aus der Steinnuss ein bisher unbekanntes Kohlenhydrat extrahirt werden kann. Der durch Kochen mit Schwefelsäure

1) Vergl. auch das auf S. 33 Gesagte.

2) l. c. Auch in den landw. Annalen des Mecklenb. patr. Vereins 1886, Nr. 14, S. 108.

3) l. c. S. 255.

4) 3,1 wurden in den äusseren dickwandigen, 4,2 pCt. in den etwas dünnwandigeren inneren Partien des Endosperms gefunden.

entstehende Zucker ist identisch mit dem Endprodukt der hydrolytischen Spaltung der Reservecellulose der Steinnuss. Auf die Darstellung und Eigenschaften dieses von mir als „Seminose" bezeichneten Zuckers wird später näher eingegangen werden.

Diese nahe Beziehung, welche zwischen dem einen löslichen Kohlenhydrate, das als „Seminin" bezeichnet werden möge, und der Cellulose der Steinnuss besteht, legte den Gedanken nahe, es möchte am Ende auch der in den Zellen enthaltene Zucker in naher Beziehung zu diesen Kohlenhydraten stehen, etwa mit der „Seminose" identisch sein. Die Drehung nach rechts und die Reduktion der FEHLING'schen Lösung sprach von vorn herein nicht gegen eine solche Vermuthung. Da dieser Zucker aber nicht das für die Seminose charakteristische Hydrazon bildet, so ergab die exakte Prüfung, dass diese Annahme von der Identität des vorliegenden Zuckers mit der Seminose unbegründet ist.

Da weder LIEBSCHER den Zucker näher untersuchte, noch aus den Angaben von LOGES zu ersehen ist, auf welche Weise er ihn mit Glykose identifizirt hat, so habe ich ihn selbst, nachdem ich mich davon überzeugt hatte, dass er nicht mit der Seminose identisch sei, einer eingehenderen Prüfung unterworfen. Um ihn zu isoliren, wurden 260 *g* entfettete und feinst gepulverte Steinnussspähne mit 85prozentigem Alkohol am Rückflusskühler im Wasserbad, wiederholt extrahirt. Die so erhaltenen Zuckerlösungen wurden durch Destillation vom grössten Theil des Alkohols befreit und der Rückstand schliesslich bis zum Verschwinden des Alkohols eingedampft, mit Wasser und etwas Bleiessig (zur Klärung) zu 50 *ccm* aufgefüllt und im 10 Centimeter-Rohr polarisirt. Die beobachtete Ablenkung betrug + 6,8 Saccharimetergrade. Von derselben Lösung wurden 25 *ccm* zu 200 *ccm* aufgefüllt und davon 50 *ccm* mit dem gleichen Volumen FEHLING'scher Lösung drei Minuten gekocht. Die Menge des reduzirten Kupfers betrug im Mittel von zwei gewichtsanalytischen Bestimmungen 0,3092 *g*, was 0,1615 *g* Traubenzucker, nach der ALLIHN'schen Tabelle berechnet, entspricht. In der angewandten Menge Spähne (260 *g*) finden sich also 1,292 *g* Traubenzucker, was auf Trockensubstanz berechnet 0,49 pCt. ausmacht. Für diese als Traubenzucker angenommene Menge würde sich eine Ablenkung von 7,9 Saccharimetergraden berechnen. Gefunden wurden, wie oben angegeben, 6,8 Saccharimetergrade. Diese Abweichung ist nicht so gross, dass man nicht den extrahirten Zucker als Dextrose annehmen dürfte; es ist sehr zu bedauern, dass es nicht gelang, die freilich geringe Menge Zucker zum Krystallisiren zu bringen.

Auch mikrochemisch wurde die Steinnuss auf die beiden löslichen Kohlenhydrate geprüft. Hierbei wurde im Wesentlichen das von SACHS[1]) zum Nachweis von Dextrin neben Traubenzucker benutzte Verfahren angewandt. Da Dextrin schon in 85prozentigem Alkohol unlöslich ist, so kann man 85—95prozentigen Alkohol, in welchem Dextrose löslich ist, zur Extraktion derselben benutzen. Nachdem die Schnitte 24 Stunden in solchem Alkohol gelegen hatten, wurden sie in *kochende* FEHLING'sche Lösung eingetragen und ein bis zwei Minuten gekocht. Es trat hierauf ziemlich bedeutende Reduktion ein. Diese Schnitte wurden verglichen mit zuckerhaltigen Schnitten, die dem gleichen Reduktionsverfahren unterworfen worden waren. Ein *erheblicher* Unterschied in der Menge des abgeschiedenen Kupferoxyduls konnte bei der mikroskopischen

1) PRINGSHEIM's Jahrbücher f. wiss. Bot. Bd. III. S. 187.

Betrachtung nicht festgestellt werden. Wäre man auf die mikrochemische Reaktion angewiesen gewesen, so hätte man nicht sicher die Anwesenheit von Zucker behaupten können. So gut diese Methode sein mag, um die Anwesenheit von dextrinartigen oder verwandten Körpern nachzuweisen, so ist sie jedoch nur dann mit Vortheil zum Nachweis des Zuckers neben diesen Körpern zu benutzen, wenn erhebliche Mengen von Zucker vorhanden sind. In anderen Fällen muss stets auf die makrochemische Untersuchung zurückgegriffen werden. Da in unserem Falle nur eine geringe Menge Zucker neben grossen Mengen des anderen Kohlenhydrates vorhanden ist, so kann das zweifelhafte Ergebniss der mikrochemischen Prüfung nicht überraschen.

Dieselben Ergebnisse gaben die Dattelsamen bei dieser mikrochemischen Untersuchung. Demnach ist es auf Grund der vollen Uebereinstimmung im anatomischen Bau der Steinnuss wahrscheinlich, dass auch bei der Dattel „Seminin" neben dem reducirenden Zucker vorkommt. Jedenfalls ist das in 85—95prozentigem Alkohol unlösliche Kohlenhydrat vorhanden, es bleibt demnach nur zweifelhaft, ob auch Zucker zugegen ist, was jedoch wohl angenommen werden darf. SACHS scheint das Vorhandensein von löslichen Kohlenhydraten in den Endospermzellen der Dattel nicht geprüft zu haben, wenigstens findet sich nirgends in der Keimungsgeschichte der Dattel[1]) eine entsprechende Angabe.

Nach Aufklärung der Natur der löslichen Kohlenhydrate aus der Steinnuss wurde versucht, die Eigenschaften des in Wasser unlöslichen Kohlenhydrates, der Cellulose, festzustellen.

Wie bereits an früherer Stelle gezeigt, verhält sich diese Cellulose abweichend von der gewöhnlichen[2]), wie sie etwa typisch in der Baumwolle vertreten ist. Aus diesem negativen Verhalten ist aber über die Natur unserer Cellulose nichts Näheres zu entnehmen. Hieraus ergab sich die Nothwendigkeit, nach anderen Mitteln sich umzuschauen, um in befriedigender Weise Aufschluss zu erlangen.

Bei der absonderlichen Natur der Cellulose, nicht zu krystallisiren und auch keine krystallisirende Verbindungen zu bilden, ist die Wahl der Mittel zur Charakterisirung des vorliegenden Körpers eine sehr beschränkte. Man konnte möglicherweise aus dem Verhalten der Reservecellulose gegen die Alkalien, gegen Salpetersäure, gegen Kupferoxyd-Ammoniak, gegen die Bleiverbindungen aus kupferoxyd-ammoniakalischer Lösung Schlüsse auf ihre eigenartige Natur ziehen. Es stellte sich dabei heraus, dass die Reservecellulose in Kupferoxyd-Ammoniak löslich ist[3]), dass dasselbe also höchstens ein Gruppenreagens ist. Dasselbe gilt, was noch einmal erwähnt sein mag, von den bekannten mikrochemischen Reaktionen, also von dem Verhalten gegen Chlorzinkjod und Jod und Schwefelsäure. Es bliebe demnach das Verhalten gegen Alkalien, Salpetersäure und die Bleiverbindungen übrig. Eine andere Möglichkeit, um Aufschluss zu erhalten, besteht in der hydrolytischen Spaltung mittelst Schwefelsäure, da die entstehenden Produkte entweder selbst krystallisirbar

1) l. c.

2) Vergl. das auf S. 33 u. 34 Gesagte.

3) Dieses Verhalten trifft nicht für alle verdickten Endospermzellen zu, deren Wandverdickungen aus physiologischen Gründen als Reservecellulose bezeichnet werden müssen. Man vergleiche dazu das von mir angegebene Verhalten von Foeniculum und Paris. (Vergl. S. 24 und S. 32.)

sind oder krystallisirende Verbindungen einzugehen vermögen, die eventuell auf eine abweichende Natur unserer Cellulose schliessen lassen würden. Hiermit sind die Möglichkeiten so ziemlich erschöpft; es fragt sich nur, welche von diesen Möglichkeiten zur Charakterisirung unseres Körpers am geeignetsten ist. Von allen diesen Wegen empfiehlt sich am meisten, wenn er überhaupt zum Ziele führt, derjenige der hydrolytischen Spaltung, besonders mit Rücksicht auf die etwaigen krystallisirenden Verbindungen. Es fehlt in der Literatur nicht an Angaben, dass auf solche Weise eine gute Unterscheidung verwandter Körper bewirkt werden kann[1]). Deshalb habe ich zunächst diesen Weg eingeschlagen, um eventuell noch die übrigen Wege zu beschreiten, falls die Ergebnisse der hydrolytischen Spaltung für sich nicht genügende Klarheit in die Natur der Reservecellulose bringen sollten.

Hydrolytische Spaltung der Reservecellulose von Phytelephas macrocarpa.

Zur Verzuckerung wurde die Substanz in der folgenden Weise gereinigt. Die schneeweissen Spähne wurden zuerst so lange mit viel kaltem Wasser digerirt, bis dasselbe durch die löslichen Eiweisstoffe nicht mehr getrübt wurde, und dann bis zur Erschöpfung ausgekocht. Nachdem die Spähne bei ca. 80° C. getrocknet waren (bei 100° werden sie gelb), wurden sie durch ein Haarsieb gerieben, so dass sie Staubraffinade ähnlich sahen.

Darstellung des „Seminins".

500 *g* dieser staubfeinen Spähne wurden in langsamem Strahle und unter Umrühren nach und nach in 500 *g* 70 prozentiger Schwefelsäure eingerührt. Schon nach kurzer Zeit wurde das Ganze zu einem steifen Brei, welcher, nachdem er 24 Stunden unter zeitweiligem Umrühren gestanden, langsam floss. Dieser Brei wurde mit so viel Wasser (ca. 1 Liter) verdünnt, dass die entstehende syrupartige Flüssigkeit gerade filtrirt werden konnte. *Dieselbe drehte sehr stark die Ebene des polarisirten Lichtes nach links.* Zur Abscheidung dieses linksdrehenden Körpers wurde das nur sehr schwach gefärbte Filtrat mit so viel absolutem Alkohol versetzt (etwa dem gleichen Volumen), dass eben ein geringer Niederschlag entstand. Nachdem dieser sich einige Stunden abgesetzt hatte, wurde er, da in ihm etwaige Verunreinigungen vermuthet wurden, durch Filtration entfernt. Das Filtrat wurde mit etwa dem gleichen Volumen absoluten Alkohols und etwas Aether versetzt. Nach 24 Stunden wurde die klare Flüssigkeit decantirt und der Rückstand, der ungefähr 50 pCt. vom angewandten Material ausmachte, so lange mit heissem 85 prozentigem Alkohol ausgeknetet, bis eine mit Wasser angeriebene Probe neutrale Reaktion zeigte. Das Auskneten ist sehr mühevoll[2]) und erfordert mehrere Tage. Als vollständige Neutralität erreicht war, wurde durch weiteres Kneten mit heissem absolutem

1) KOCH, Experimentelle Prüfung des Holzgummis und dessen Verbreitung im Pflanzenreich. Pharm. Zeitschr. für Russland. 1886.

2) Kommt es nur auf die Darstellung des Zuckers allein an, so genügt zur Entfernung der grössten Mengen Schwefelsäure bereits ein mehrmaliges Auskneten mit heissem etwa 85 prozentigem Alkohol.

Alkohol entwässert, die Masse darauf unter Anwendung von etwas absolutem Aether zu einem feinen Pulver zerrieben und schliesslich über Schwefelsäure getrocknet.

Der so erhaltene Körper stellt ein schneeweisses neutrales Pulver dar, das mit wenig Wasser, etwa der sechsfachen Menge, zu einer mit Luftblasen durchsetzten Pasta aufquoll. Auch in viel Wasser war es nicht vollständig löslich, immer blieb ein Theil ungelöst. Es liegt demnach in dieser Substanz ein Gemenge von Spaltungsprodukten der Reservecellulose vor, die denen bei der hydrolytischen Spaltung der Baumwollcellulose erhaltenen Cellulosedextrinen entsprechen, und die als Zwischenprodukte zwischen Cellulose und Zucker um so löslicher in Wasser sind, je weiter die hydrolytische Spaltung vorgeschritten ist. Aus diesen Gründen erschien es zwecklos, das spezifische Drehungs- und Reduktionsvermögen dieses Gemenges festzustellen. Soweit die Zerlegung desselben in einzelne Bestandtheile versucht wurde, war sie nicht ausführbar.

Hieraus ergiebt sich, dass bei der Behandlung der Reservecellulose von Phytelephas-Samen mit Schwefelsäure *linksdrehende* Kohlenhydrate erhalten werden, während aus der gewöhnlichen Cellulose unter gleichen Verhältnissen rechtsdrehende Spaltungsprodukte hervorgehen, wie es aus der Literatur bekannt ist, und wovon ich mich selbst überzeugte, indem ich Baumwolle, Kiefern- und Buchen-Cellulose in derselben Weise wie die Phytelephas-Samen behandelte. **Dieser Umstand weist also abermals auf eine Verschiedenheit der beiden Cellulosen hin.**

Des optischen Verhaltens wegen beabsichtigte ich anfänglich diese Spaltungsprodukte als „Sinistrin“ zu bezeichnen. Da jedoch mehrere mit meinem Umwandelungsprodukte der Reservecellulose nicht übereinstimmende Körper bekannt sind, die den Namen Sinistrin tragen, hielt ich es für geboten, um einer Verwirrung in der Nomenklatur vorzubeugen, unserem Gemenge linksdrehender Körper die Bezeichnung „*Seminin*“ beizulegen. Diese Bezeichnung halte ich um so mehr für zutreffend, als das „Seminin“ bei weiterer hydrolytischer Spaltung einen von mir „*Seminose*“ [1]) benannten Zucker liefert. „Seminin“ und „Seminose“ stehen also zu einander in einer ähnlichen Beziehung wie Dextrin und Dextrose. Das als Spaltungsprodukt der Reservecellulose erhaltene „Seminin“ ist identisch mit dem aus dem Endosperm der Phytelephas-Samen durch Wasser extrahirten und bereits oben als „Seminin“ (S. 38) bezeichneten Körper. Selbstverständlich besteht also auch für dies im Zellinhalt schon vorgebildete Seminin die Möglichkeit, dass es kein einheitlicher Körper, sondern ein Gemenge ist; sollte letzteres nicht der Fall sein, so muss dieser wenigstens ein Bestandtheil des aus der Reservecellulose mittelst Hydrolyse erhaltenen Gemenges sein. Erst eine genauere Kenntniss dieser Substanzen kann darüber entscheiden, welche Ausdehnung dem Worte „Seminin“ zu geben ist.

Es liess sich zum Theil schon aus den Angaben in der Literatur ersehen, zum Theil habe ich mich durch eigene Untersuchungen davon überzeugt, dass mein „Seminin“ mit den bereits bekannten Sinistrinen und verwandten linksdrehenden Kohlenhydraten nicht identisch ist.

---

1) Vergl. meine vorläufige Mittheilung: Ueber die in den Samen als Reservestoff abgelagerte Cellulose und eine daraus erhaltene neue Zuckerart, die „Seminose“, B. d. d. chem. Gesellsch. XXII H. 5, S. 609—613.

Aus den Zwiebeln von Scilla maritima wurde von SCHMIEDEBERG[1]) ein linksdrehendes und als Sinistrin bezeichnetes Kohlenhydrat aufgefunden, das später von RICHE und REMONT[2]) und von REIDEMEISTER[3]) näher untersucht worden ist. Identisch mit diesem Sinistrin hält ARTH. MEYER[4]) ein linksdrehendes Kohlenhydrat aus den Blättern von Yucca filamentosa, wo dasselbe als Assimilationsprodukt auftreten soll. Schon *vordem* SCHMIEDEBERG sein Sinistrin in der Meerzwiebel gefunden hatte, war von KÜHNEMANN[5]) mit diesem Namen ein linksdrehendes Kohlenhydrat belegt worden, das er in ziemlicher Menge in der ungekeimten, aber nur in minimaler Menge in gekeimter Gerste antraf. Zu diesen Sinistrinen gesellen sich noch das Triticin und Irisin. Ersteres wurde von MÜLLER[6]) aus den Rhizomen von Triticum repens, letzteres von REIDEMEISTER[7]) aus den Rhizomen von Iris pseudacorus isolirt; doch hält TOLLENS[8]) beide wegen des gleichen Polarisationsvermögens für identisch. Aus den Samen von Allium Cepa liess sich gleichfalls ein *linksdrehendes* Kohlenhydrat gewinnen. Ich extrahirte die Samen mit Wasser, fällte den eingeengten Extrakt mit Alkohol und polarisirte die wässrige Lösung des so erhaltenen Körpers.

Bei der hydrolytischen Spaltung dieses Kohlenhydrates entsteht ein linksdrehender Zucker, der mit Phenylhydrazin *kein* Hydrazon bildet. Hieraus ergiebt sich, dass der Zucker keine „Seminose" und dass mithin dieses lösliche Kohlenhydrat mit „Seminin" ebenfalls nicht identisch ist. Eine hydrolytische Spaltung der Reservecellulose dieser Samen ergab wie bei den Phytelephas Samen „Seminin" und „Seminose". Während also die Zellwand gleiche Zusammensetzung aufweist, sind die *löslichen* Kohlenhydrate des Endosperms bei Allium und Phytelephas verschieden[9]).

Eine Bestimmung dieses durch Alkohol gefällten Körpers lag natürlich ausserhalb des Rahmens meiner Arbeit. Möglich wäre, dass er, wenn auch nicht mit „Seminin", so wenigstens mit einem der anderen erwähnten linksdrehenden Kohlenhydrate identisch wäre. Ebenso wenig ist aber das Seminin identisch mit dem Triticin und Irisin, da diese bei der hydrolytischen Spaltung Laevulose, jenes aber Seminose liefert.

Da KÜHNEMANN mit seinem aus der Gerste gewonnenen Sinistrin keine

1) Ber. d. d. chem. Ges. XII, S. 705; Zeitschr. für physiolog. Chemie III, S. 112. Journ. Agricult. Chem. 1879, 130.

2) Journ. de Pharm. (5) 2, S. 291.

3) „Ein Beitrag zur Kenntniss des Laevulins, Triticins, Sinistrins". Diss. Dorpat 1880.

4) Botan. Zeitung 1885.

5) Ber. d. d. chem. Ges. (VIII) 387; (IX) 1385.

6) Arch. d. Pharm. (III) 2, S. 500.

7) Chem. Centralbl. 1880, S. 808. Vergl. auch Fussnote 3.

8) TOLLENS, Handb. der Kohlenhydrate, Breslau.

9) Auch der in den Samen natürlich vorkommende Zucker ist verschieden von dem von mir in der Steinnuss als Dextrose nachgewiesenen (vergl. S. 38). Ich vermuthe, dass hier Rohrzucker vorliegt. Zur Untersuchung wurden 26,048 *g* entfettete lufttrockene Substanz (das Normalgewicht für den Saccharimeter) wiederholt mit 70 pCt. Alkohol am Rückflusskühler extrahirt und der eingeengte Auszug mit Bleiessig auf 50 *ccm* aufgefüllt. Im 20 Centimeter-Rohr beobachtete ich eine Ablenkung von 3,2°, die 1,6 pCt. Rohrzucker entsprechen würden. Zur Feststellung, ob diese Rechtsdrehung von Rohrzucker herrührt, wurden ca. 30 *ccm* mit 10 Tropfen konzentrirter Salzsäure versetzt und 10 Minuten bei einer Temperatur von 70° digerirt. Jetzt erhielt ich eine Linksdrehung von 1°. Nach der CLERGET'schen Formel berechnet, giebt diese Inversion den gleichen Werth für *1,6 pCt. Rohrzucker.*

Inversions-Versuche angestellt hat und das SCHMIEDEBERG'sche Sinistrin in der Meerzwiebel bei der hydrolytischen Spaltung ein Gemenge von Laevulose und einem optisch inaktiven Zucker liefert, so schien es mir angezeigt zu untersuchen, ob das Sinistrin aus der Gerste etwa nicht identisch sei mit dem von mir aus der Steinnuss gewonnenen linksdrehenden Kohlenhydrat, und ob in dem SCHMIEDEBERG'schen Sinistrin nicht vielleicht ein Gemenge vorliege, dessen einer Theil gleichfalls mit meinem aus der Steinnuss-Cellulose durch hydrolytische Spaltung dargestellten „Seminin" identisch sei.

Zunächst wurden ca. 500 *g* sogenannte Rollgerste mit mehreren Litern Wasser einige Stunden gekocht und nach dem Erkalten filtrirt. Der in der Gerste enthaltene Zucker, der nach KÜHNEMANN identisch mit Rohrzucker ist, hätte vorher durch Extraktion mit Alkohol entfernt werden können, jedoch störte weiter nicht, denn er bildet weder mit Phenylhydrazin ein schwer lösliches Hydrazon, noch zeigt er das Verhalten gegen Bleiessig, wie es bisher ausschliesslich dem aus dem Seminin erhaltenen Zucker, der Seminose, eigen ist, die später ausführlich besprochen werden wird. Das Filtrat wurde nun bis zu ca. 500 *ccm* eingeengt und mit soviel Schwefelsäure versetzt, dass 5 pCt. Schwefelsäure in Lösung waren. Diese so Sinistrin-Lösung wurde eine halbe Stunde im Wasserbade erhitzt, durch Blutkohle entfärbt, mit Baryumkarbonat neutralisirt und filtrirt. Die so durch Hydrolyse entstandene Zuckerlösung wurde eingeengt und schliesslich mit Phenylhydrazin versetzt. Da jedoch mit diesem der Zucker kein schwer lösliches Hydrazon bildete, so war damit der *sichere* Beweis erbracht, dass das Sinistrin der Gerste nicht mit unserem Seminin identisch ist. Ob der durch die hydrolytische Spaltung des Gerste-Sinistrins gewonnene Zucker rechts oder links dreht, wurde nicht untersucht, da der rechtsdrehende natürlich vorkommende Zucker, wie oben bereits erwähnt, nicht vor der Wasserextraktion entfernt worden war.

Die gleiche Untersuchung wurde mit dem SCHMIEDEBERG'schen Meerzwiebel-Sinistrin ausgeführt. Da dieses nach SCHMIEDEBERG's Angabe in der Meerzwiebel neben Zucker in so reichlicher Menge enthalten ist, dass es den grössten Theil ihrer Trockensubstanz bildet, konnte auch hier die zeitraubende Reindarstellung des Sinistrins mit Rücksicht auf die empfindliche Hydrazon-Reaktion unterbleiben. Es wurden die fein gepulverten Meerzwiebeln direkt mit gleichen Theilen 70prozentiger Schwefelsäure versetzt, dieser Brei nach 24stündigem Stehen mit so viel Wasser verdünnt, dass wiederum 5pCt. Schwefelsäure in Lösung waren. Im Uebrigen verfuhr ich bei der Inversion genau so, wie ich es für das Gerste-Sinistrin beschrieben habe. Der erhaltene Syrup drehte die Ebene des polarisirten Lichtes sehr stark nach *links* und gab *nicht* die Hydrazon-Reaktion. Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass unser Seminin weder identisch ist mit dem KÜHNEMANN'schen noch mit dem SCHMIEDEBERG'schen Sinistrin.

Darstellung von „Seminose" aus Seminin.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass durch fortgesetzte hydrolytische Spaltung aus dem Seminin ein Zucker, die Seminose, erhalten werden kann. Zur Darstellung derselben wurde eine ca. 10—15prozentige Lösung des Seminins, die 2 pCt. Schwefelsäure enthielt, eine Stunde im Wasserbade erhitzt.

Darauf wurde die etwas gelb gefärbte Flüssigkeit mit Blutkohle entfärbt, mit Baryumkarbonat neutralisirt und nach der Filtration im Vacuum zum Syrup abgedunstet. Dieser war vollständig farblos, durchsichtig, gährungsfähig, reducirte FEHLING'sche Lösung, drehte die Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts und schmeckte süss, zeigte aber in allen Fällen einen angenehm bitteren Nachgeschmack, der vielleicht darauf hindeutet, dass bevor die Spaltung des Seminins beendet war, bereits eine geringe Karamelisirung des gebildeten Zuckers begonnen hatte.

Da sich durch die Behandlung des Syrups mit Aethylalkohol, Methylalkohol und Aether eine Trennung der Seminose von den Beimengungen nicht erzielen liess, war es bis jetzt leider noch nicht gelungen, die Seminose krystallisirt zu erhalten, und es musste daher von den Bestimmungen des spezifischen Drehungs- und Reduktionsvermögens abgesehen werden. Desshalb wurde der Syrup, welcher längere Zeit über Schwefelsäure gestanden hatte und 1,045 pCt. Asche enthielt, endlich direkt auf Reduktion und Polarisation untersucht.

50 *ccm* einer Lösung, welche 0,1625 *g* Syrup entsprechend 0,137 *g* wasser- und aschenfreier Substanz enthielt, ergab als Mittel zweier Bestimmungen 0,193 *g* Kupfer.

Zur Prüfung des Drehungsvermögens wurden 6,5 *g* Syrup, entsprechend 5,4799 *g* asche- und wasserfreier Substanz, in Wasser gelöst, auf 100 *ccm* aufgefüllt und bei 20° polarisirt. Als Mittel von 6 Ablesungen ergab sich eine Rechtsdrehung von 6,07 im 20 Centimeter-Rohr.

Vermuthlich wird sich die Seminose aus einer der weiter unten beschriebenen, schwer löslichen Verbindungen oder mittelst Dialyse krystallisirt erhalten lassen.

Der Gährungsversuch wurde in folgender Weise angestellt. Gleiche Theile Seminose und frische Presshefe wurden mit 100 *ccm* Wasser gemischt und in ein kleines Kölbchen gebracht, dessen Gummistöpsel doppelt durchbohrt war zur Aufnahme eines Thermometers und einer gebogenen Glasröhre, die in ein Gefäss mit Kalkwasser mündete. Das Kölbchen wurde in ein Wasserbad gesetzt, welches die konstante Temperatur von 34° zeigte. Bereits nach wenigen Minuten trat lebhafte Kohlensäureentwicklung ein, die nach vier Stunden nachgelassen hatte. Der Alkohol sowie die Kohlensäure wurden qualitativ nachgewiesen; ersterer durch die Jodoformprobe, letztere durch Kalkwasser.

Die Seminose wurde auch erhalten durch *direkte Verzuckerung* der mit Wasser extrahirten Spähne der Steinnuss. Es wurde dabei ebenso verfahren wie bei der Darstellung des Seminins, doch unterblieb selbstverständlich die Fällung mit Alkohol und Aether, wodurch dieses ja niedergeschlagen worden war. Der Brei wurde mit mehreren Litern Wasser verdünnt, filtrirt und zur Neutralisation mit etwas mehr als der berechneten Menge kohlensauren Baryts nach und nach versetzt. Nach mehrtägigem Stehen in der Kälte und öfterem Umrühren war die Flüssigkeit neutral geworden. Das Filtrat nebst Waschwasser wurde im Vakuum etwas eingeengt, mit so viel Schwefelsäure versetzt, dass die Lösung 2 pCt. Schwefelsäure enthielt, und dann zur Inversion eine Stunde im Wasserbade erhitzt. Die so invertirte Lösung wurde mit Blutkohle entfärbt und durch kohlensauren Baryt neutralisirt. Das Filtrat wurde im Vakuum zur Syrupkonsistenz eingedampft. Der so erhaltene Syrup zeigte

dieselben Eigenthümlichkeiten wie der aus dem Seminin dargestellte, nur war er sehr schwach gelblich gefärbt.

Wenngleich es bisher nicht möglich war, wie schon erwähnt wurde, den Zucker krystallisirt zu erhalten und die für einen solchen Körper charakteristischen Bestimmungen auszuführen, so gelang es jedoch, gewisse Verbindungen zu erhalten, die es ausser Frage stellen, dass in der Seminose eine bisher noch unbekannte Zuckerart vorliegt. Diese Verbindungen sollen nun in Folgendem näher beschrieben werden.

I. Hydrazon der Seminose.

Zunächst wurde versucht, zur Charakterisirung der Seminose das Osazon nach dem von E. FISCHER[1]) angegebenen Verfahren darzustellen. Dabei zeigte sich, dass die wässrige Seminoselösung mit essigsaurem Phenylhydrazin versetzt, *bereits in der Kälte fast sofort in ausserordentlich reichlicher Menge ein farbloses, in Wasser sehr schwer lösliches, krystallinisches Hydrazon bildete.* Der Schmelzpunkt der aus Alkohol umkrystallisirten Verbindung wurde bei 185 bis 186° gefunden. Dieselbe ist in 80—100 Theilen verdünnten Alkohols löslich und fällt beim Erkalten desselben grösstentheils wieder aus. Kochendes Wasser als Krystallisationsmittel zu verwenden, erwies sich nicht empfehlenswerth; denn hierbei trat eine geringe Zersetzung ein, und statt des farblosen Produktes erhielt man ein gelbliches.

Das Hydrazon krystallisirt in kleinen Tafeln von rhombischem Umriss. Die Analyse ergab folgende Zahlen:

	gefunden	berechnet für $C_{12}H_{18}N_2O_5$
C	52,83	53,33
H	7,21	6,6
N	10,19	10,37
O	29,77	29,70

Der erhaltene Körper stellt also unter Abspaltung von Wasser eine Verbindung einer Zuckerart $C_6H_{12}O_6$ mit 1 Molekül Phenylhydrazin dar und ist demgemäss nicht als Osazon, das bekanntlich auf 1 Molekül Zucker 2 Moleküle Phenylhydrazin enthalten müsste, sondern als ein Hydrazon anzusprechen.

II. Bleiverbindung.

Es ist bekannt, dass von den Zuckerarten die Raffinose und Galactose aus alkoholischer, die übrigen Zuckerarten aus alkalisch wässriger Lösung durch Bleiessig gefällt werden. Dahingegen fällt die Seminose schon aus neutraler wässriger Lösung. Wird eine *neutrale* wässrige Seminoselösung mit Bleiessig versetzt, so fällt die Seminose als eine weisse gelatinöse Bleiverbindung, welche von einem Ueberschuss an Bleiessig wieder gelöst wird und in heissem und in kaltem Wasser wenig löslich ist. Beim Kochen mit Wasser zersetzt sich die Verbindung wie Bleiverbindungen anderer Zuckerarten unter Abscheidung eines rothen Niederschlages.

Die Seminose-Bleiverbindung wurde zur Analyse bis zum konstanten Ge-

1) Ber. d. d. chem. Ges. (17) S. 579 (19) S. 1920 (20) S. 824.

wicht über Schwefelsäure getrocknet und ergab die Formel $PbO\ (C_6H_{12}O_6) + H_2O$.

Nämlich 0,456 *g* Substanz gaben 0,3281 $PbSO_4$

also Prozente:

	gefunden	ber. für $PbO\ (C_6H_{12}O_6) + H_2O$
Pb	49,1	49,17.

Auf 1 Molekül Zucker ist also 1 Molekül Bleioxyd in die Verbindung eingetreten.

Da die Seminose bis jetzt die einzige Zuckerart ist, der diese sehr charakteristische Eigenschaft, schon in neutraler Lösung durch Bleiessig gefällt zu werden, zukommt, so wäre es immerhin nicht ausgeschlossen gewesen, dass der Niederschlag aus Bleiverbindungen von etwaigen Zwischenprodukten, die bei der hydrolytischen Spaltung nicht in Seminose übergeführt worden waren, bestehen könnte. Desshalb wurde versucht, aus dem Niederschlag Seminose zu isoliren, indem die Bleiverbindung mit etwas mehr als der berechneten Menge Schwefelsäure, die mit Wasser verdünnt war, zersetzt und das schwefelsaure Blei mit Alkohol gefällt wurde. Das Filtrat, mit Ammoniak neutralisirt, wurde zum Syrup eingeengt und mit der wässrigen Lösung die Phenylhydrazin-Reaktion gemacht. Sofort schied sich das Hydrazon in reichlichster Menge farblos ab und verhielt sich auch im Uebrigen ganz gleich wie das oben beschriebene Hydrazon. Die Befürchtung, dass der Niederschlag aus einer Bleiverbindung dextrinartiger Körper hätte bestehen können, war also unbegründet.

III. Isonitroso-Verbindung.

RISCHBIETH[1]) konnte von der Dextrose, Laevulose und Arabinose nicht die Isonitroso-Verbindungen erhalten, wohl aber von der Galactose. Zu dieser Zuckerart gesellt sich nun auch die Seminose. Um also die Anzahl der Karbonylgruppen im Zuckermolekül zu bestimmen, liess ich Hydroxylamin auf Seminose einwirken.

Es wurde 1,5 *g* Syrup (auf 1 *g* Trockensubstanz berechnet), 0,4 *g* salzsaures Hydroxylamin und 0,3 *g* trockene Soda in wenig Wasser gelöst, dann zur Austreibung der Kohlensäure schwach erwärmt und rasch filtrirt. Bereits nach wenigen Minuten begann die Krystallisation und nach Verlauf von etwa 4 Stunden hatte sich die Isonitrosoverbindung in schönen weissen Krystallen sehr reichlich abgeschieden.

Zur Feststellung der Zusammensetzung wurde der Stickstoff volumetrisch bestimmt. Die Analyse ergab folgende Zahlen:

0,3999 *g* Substanz entwickelten 25,2 *ccm* Stickstoff bei 16° C. und 746 *mm* Barometerstand, also:

	gefunden	ber. für $C_6H_{13}O_6N$
N	7,2	7,18 pCt.

Es hatte sich somit 1 Molekül Seminose mit 1 Molekül Hydroxylamin verbunden.

Die Substanz schmilzt wie die Verbindung der Galactose bei 176°, ist in

1) Ber. d. d. chem. Ges. (20) S. 2673.

Wasser ziemlich leicht löslich, in absolutem Alkohol vollständig unlöslich, in verdünntem Alkohol je nach dem Grade der Verdünnung löslich.

Es bestätigt also auch die Zusammensetzung dieser drei Verbindungen, dass in der Seminose eine neue Zuckerart von der Zusammensetzung der Glycosen $C_6H_{12}O_6$ vorliegt, wenngleich dieselbe noch nicht in voller Reinheit erhalten werden konnte. Sie ist auch nicht identisch mit der von E. FISCHER und JOSEPH HIRSCHBERGER durch Oxydation des Mannits mit Salpetersäure erhaltenen Mannose[2]). Diese ist die einzige bis dahin bekannte Zuckerart, welche ein schwerlösliches Phenylhydrazon bildet. Während aber nach der Angabe dieser beiden Autoren die Mannose erst durch *ammoniakalischen* Bleiessig niedergeschlagen wird, fällt die Seminose bereits aus *neutraler* Lösung mit Bleiessig. Neuerdings ist die Mannose auch dargestellt worden von TOLLENS und GANS[3]) durch Inversion aus den Salepknollen.

Da es mir nun erwünscht war, mich durch einen Versuch davon zu überzeugen, dass meine Seminose nicht mit Mannose identisch sei, so habe ich nach meinem Inversionsverfahren Salepknollen auf den entstehenden Zucker geprüft. Dabei zeigte sich, dass derselbe durch Bleiessig aus neutraler Lösung *nicht* gefällt wird, während, wie ich ja eben gezeigt, die Seminose unter den gleichen Bedingungen diese charakteristische Eigenthümlichkeit zeigt.

Zur Darstellung der Mannose verfuhr ich also in folgender Weise. 40 *g* gepulverte Salepknollen wurden unter Kühlung allmählich in 40 *g* 70prozentiger Schwefelsäure unter Rühren (in einem Porzellanmörser) eingetragen. Die so entstandene schwach gefärbte Pasta liess ich 24 Stunden bei ca. 30° C. stehen, wodurch ein leicht fliessender Brei (der sich jetzt allerdings bräunlich gefärbt hatte), entstand. Darauf wurde derselbe mit soviel Wasser (700 *g*) verdünnt, dass eine 5prozentige Schwefelsäure erhalten wurde. Das Ganze liess ich 24 Stunden absetzen, um dann von dem relativ wenig Ungelösten abzufiltriren. Das Filtrat, welches gelb gefärbt war, wurde 35 Minuten lang im Wasserbade erhitzt, mit Blutkohle entfärbt und zur Neutralisation mit etwas mehr als der berechneten Menge Baryumkarbonat versetzt. Das Filtrat wurde im Vakuum eingeengt und der so erhaltene gelb gefärbte Syrup zur Darstellung des Hydrazons verwandt.

Ich erhielt 14 pCt. der rohen und 11 pCt. der reinen Hydrazon-Verbindung, also etwa doppelt so viel, wie TOLLENS und GANS, die 5—6 pCt. als Ausbeute angeben. Vielleicht rührt die geringe Ausbeute dieser Autoren daher, dass ein grosser Theil der Mannose in Folge der von ihnen angewandten 4stündigen Inversionszeit zersetzt worden ist. Für die Zukunft wird es sich aber empfehlen, Mannose nach meinem Verfahren zu gewinnen.

Seminose-Darstellung aus verschiedenen Samen.

Die weitere Charakterisirung der Seminose, ihre absolute Reindarstellung, eventuell ihre Gewinnung in Krystallform lag der Lösung der hier gestellten Aufgabe nicht so nahe, als dass vor der Hand nicht darauf verzichtet werden

2) Ber. d. d. chem. Ges. (21) 1888, S. 1805 (22) 1889, S. 369.
3) Ber. d. d. chem. Ges. (21) 1888, S. 2150.

konnte. Es mag dies späteren Untersuchungen überlassen bleiben. Viel wichtiger musste es für mich sein, an der Hand dieser Ergebnisse den Faden meiner Untersuchung wieder aufzunehmen. Die Darstellung der Seminose gewährte ja ein vorzügliches Mittel, um zu entscheiden, ob eventuell die Reservecellulose in dem Sinne, wie wir sie im botanischen Theil dieser Arbeit aufgefasst haben, wirklich überall von gleicher Beschaffenheit ist.

Geben die Reservellulose speichernden Samen bei der hydrolytischen Spaltung dieselbe Zuckerart, wie Phytelephas, die Seminose, so darf man den Schluss für berechtigt halten, dass überall das gleiche Ausgangsprodukt in der Reservecellulose vorgelegen habe. Zugleich würde bei günstigem Ausfalle der Untersuchung der Rückschluss gerechtfertigt scheinen, dass auch die Endospermmasse der Steinnuss wesentlich Reservecellulose im rein physiologischen Sinne darstellt, was man zwar fast allgemein annimmt, ohne jedoch einen direkten Beweis dafür bisher erbracht zu haben. Die Keimungsgeschichte ist noch niemals verfolgt worden, und mir selbst ist es ebenfalls unmöglich gewesen, keimfähiges Material aufzutreiben.

Vorgreifend mag hier schon mitgetheilt werden, dass die Darstellung der Seminose aus allen von mir untersuchten Reservecellulose führenden Samen gelungen ist; der erhoffte Erfolg war also ein positiver. Es scheint jedoch geboten, diese Thatsache hier noch spezieller zu beleuchten.

Mit Rücksicht darauf, dass die ersten Versuche zur Charakterisirung der Reservecellulose, sowohl im physiologischen als auch im chemischen Sinne, mit Phoenixsamen angestellt worden waren, wurde die Verzuckerung dieser zunächst versucht. Dabei konnte gleich mein vereinfachtes Verfahren, wie ich es für Phytelephas eingeschlagen hatte, in Anwendung gebracht werden. Von der Darstellung der Zwischenprodukte bei der Inversion, speziell dem Nachweis der Seminingewinnung durfte Abstand genommen werden, weil die Isolirung des Seminins mit Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre, deren Ueberwindung für die Kardinalfrage absolut belanglos sein musste.

Ich verzuckerte also fein gemahlene, nicht gekeimte Dattelsamen und erhielt das charakteristische Hydrazon aus der rechtsdrehenden Zuckerlösung in sehr reichlicher Menge. Schon dieser Erfolg erwies die Identität der Reservecellulose der Dattel- und Phytelephas-Samen. In beiden Fällen lagen Palmen vor. Es war daher wünschenswerth zu versuchen, ob noch weitere Palmensamen Seminose liefern, und ob somit auch hier die Verdickungsschichten der Endospermzellen als Reservestoff aufzufassen wären.

Freilich geben physiologische Studien an keimenden Pflanzen über die Natur der Reservestoffe einen besseren Aufschluss, als es auf Grund einer derartigen chemischen Betrachtung der Fall sein kann; aber da bei den meisten Palmenarten die Möglichkeit einer Keimung entweder wegen Mangels keimfähiger Samen oder wegen Fehlens geeigneter Einrichtungen ausgeschlossen ist, so wird man sich gewiss gern mit den chemischen Kriterien begnügen.

Entsteht bei der Verzuckerung der Samen der neue Zucker, so darf man schliessen, dass hier die Cellulose als Reservestoff auftritt, entsteht er nicht, so ist hier Cellulose nicht Reservestoff, und glaubt man einen so weit gehenden Schluss nicht gutheissen zu können, so kann man wenigstens sagen, dass in diesem Falle die Sache zweifelhaft bleibt, indem ja vielleicht verschiedenartige Cellulosen als Reservestoff auftreten könnten.

Von Chamaerops humilis hatte ich festgestellt, dass das Endosperm im

physiologischen Sinne Reservecellulose sei. Ich verzuckerte nun gepulverte Samen dieser Chamaerops-Art und erhielt wiederum Seminose. Ich wählte dann noch zwei weitere Palmensamen zur Untersuchung, die Samen von Lodoicea Seychellarum und Elaïs guineensis. Beide lieferten verzuckert ebenfalls Seminose.

Auf Grund dieser Ergebnisse kann mit grosser Wahrscheinlichkeit behauptet werden, dass die Reservecellulose nicht mehr eine ausschliesslich physiologisch, sondern durch die Fähigkeit, Seminose zu liefern, auch chemisch definirte Celluloseform ist. Für die Palmensamen mit verdickten Endospermzellen wird diese Schlussfolgerung kaum auf Widerspruch stossen; denn wenn wir bedenken, dass bei fünf zufällig gewählten und untersuchten Palmen eine vollständige Uebereinstimmung in dem chemischen Verhalten der die Zellwand aufbauenden Cellulose vorhanden ist, und dass in zwei den beiden Arten dieser Familie durch Keimung verfolgt wurde, dass sie als Reservestoff funktionirt, so darf mit einer an Gewissheit grenzenden Wahrscheinlichkeit behauptet werden, dass überall dort, wo in den Palmensamen Cellulose abgelagert ist, die bei der Verzuckerung Seminose liefert, diese Cellulose auch als Reservestoff für den Keimling dient.

Will man aber die chemische Reaktion als ein genügendes Kriterium für die Identität aller Reservecellulose hinstellen, so genügt eine Beschränkung auf die Gruppe der Palmen nicht; denn diese können sich, untereinander übereinstimmend, von anderen Pflanzenarten abweichend verhalten; vielmehr musste also die chemische Untersuchung noch auf andere Pflanzenarten mit verdickten Endospermwänden ausgedehnt werden.

Es wurden desshalb zunächst zermahlene Samen von Allium Cepa nach meinem oben angegebenen Verfahren verzuckert. Da der erhaltene Syrup sehr dunkel, also unrein war, wurde er mit Alkohol versetzt, so dass die Beimengungen und Verunreinigungen grösstentheils niedergeschlagen wurden. Das Filtrat wurde eingeengt und ein gelber Syrup erhalten. Derselbe drehte die Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts und gab mit Phenylhydrazin in der Kälte das schwer lösliche Hydrazon, das die nämlichen Eigenschaften besass wie das Hydrazon der Seminose. Demnach ist dieser Zucker mit Seminose identisch und die Cellulose identisch mit der Reserve-Cellulose der Palmen, ein Ergebniss, welches sich vollständig mit dem Resultate unserer botanischen Beobachtung (siehe Seite 22) deckt. Es war daher zu erwarten, dass das für die Palmen Ermittelte auch für die ganze Familie der Liliaceen gelten möchte. Ich habe deshalb noch die Samen von Asparagus officinalis verzuckert. Auch sie lieferten Seminose. Nun ist Asparagus ein Vertreter aus der Unterfamilie der Smilaceen, während Allium den Lilieen angehört. Es berechtigt dies also um so mehr zu der Annahme, dass allen Liliaceen mit verdicktem Endosperm die gleiche Form der Reservecellulose eigen ist.

Die Verwandtschaft der Liliaceen mit den Iridaceen liess ferner vermuthen, dass auch bei diesen letzteren die Zellwände des verdickten Endosperms (soweit sie nicht aus Amyloid bestehen) aus dieser Reservecellulose aufgebaut sind. Meine bereits erwähnte Untersuchung von Iris pseudacorus hat ergeben, dass ihr Endosperm sicher als Reservestoff funktionirt. Nun ergab auch die Verzuckerung der Samen von Iris pseudacorus wiederum Seminose, so dass es unzweifelhaft ist, dass die Reservecellulose von Iris von gleicher Art ist wie die der Palmen und Liliaceen.

Vom botanischen Standpunkte aus war aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, es möchte die besondere Natur der Reservecellulose ein spezifischer Charakter der Monocotylen sein, es erschien deshalb angezeigt, die chemische Untersuchung auch auf diejenigen Dicotylen auszudehnen, deren verdicktes Endosperm die Vermuthung nahe legt, dass auch hier die Wandverdickungen bei der Keimung als Reservestoff fungiren.

Von dicotylen Pflanzen habe ich die Samen folgender Arten der hydrolytischen Spaltung unterworfen: Foeniculum officinale (Umbelliferae), Strychnos nux vomica (Loganiacae), und Coffea arabica (Rubiacae). Bei allen dreien wurde Seminose erhalten. Es ist unstreitig von hoher Bedeutung, dass die willkürlich herausgegriffenen dicotylen Pflanzen bei der hydrolytischen Spaltung der verdickten Endospermwände das nämliche Resultat liefern, wie die von mir untersuchten monocotylen Familien. Wenngleich nun auch die Zahl der dicotylen Pflanzen eine sehr beschränkte ist — freilich liegen darüber keine Untersuchungen und Angaben vor, wie weit die verdickten Endospermwände im Pflanzenreiche verbreitet sind — so glaube ich, bis gegentheilige Angaben bekannt werden sollten, mit grosser Wahrscheinlichkeit behaupten zu dürfen, dass auch bei den dicotyledonen Pflanzen überall dort, wo die Endospermwandverdickungen beim Verzuckern Seminose liefern, die Cellulose als Reservestoff dient. Um aber diesen Schluss noch mehr zu stützen, hielt ich es ebenso wie bei den Monocotylen für geboten, so weit es ging, mich durch einen Keimungsversuch von der Richtigkeit meiner Auffassung zu überzeugen. Lässt sich doch die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, dass etwa auch die Seminose liefernde Cellulose trotzdem nicht als Reservestoff funktionirt, so setzte ich denn Keimungsversuche mit Samen von Coffea, Strychnos und Foeniculum an. Trotzdem die Samen von Strychnos und Coffea als keimfähig bezogen worden waren, hat selbst bei mannigfaltiger Abwandlung der Keimungsbedingungen, bis jetzt noch nicht ein einziger Same gekeimt. Mehr Erfolg habe ich freilich mit Foeniculum gehabt, wie bereits aus dem ersten Theile dieser Arbeit zu entnehmen ist[1]). Die Samen keimten gut, so dass ich die vollständige Auflösungsgeschichte der Cellulose studiren konnte; meine Annahme, dass hier in den sogar nur mässig verdickten Endospermwänden ein Reservestoff vorliege, hat sich demnach durch die thatsächliche Beobachtung als richtig bestätigt. In der Uebereinstimmung zwischen dem Verhalten der Cellulose in chemischer und physiologischer Beziehung glaube ich eine weitere Stütze erblicken zu dürfen dafür, dass der Rückschluss aus dem chemischen Verhalten unserer Cellulose auf das physiologische ein durchaus berechtigter ist.

Als Resultat aller dieser Untersuchungen spreche ich demnach die Ansicht aus, dass überall da, wo in den Samen Zellwandverdickungen im physiologischen Sinne aus Reservecellulose bestehen, die Verzuckerung Seminose liefert und umgekehrt, dass überall da, wo sich Seminose aus den Zellwandverdickungen der Samen darstellen lässt, dieselben im physiologischen Sinne aus Reservecellulose bestehen. Ich nehme also fernerhin an, dass „Reservecellulose“ und „Seminose“ liefernde Cellulose identisch sind.

1) cf. S. 25.

Ueber die Natur der Cellulose der aus Reservecellulose führenden Samen erzogenen Keimpflanzen.

Der Umstand, dass aus der Reservecellulose der Samen von Phytelephas macrocarpa durch hydrolytische Spaltung Seminin entsteht, und dass sich gleichfalls Seminin in der Zelle gelöst findet, deren Identität durch die Seminosebildung feststeht, legte den Gedanken nahe, es möchte etwa bei der Keimung die Cellulose in Seminose umgewandelt und in dieser Form dem Keimling zugeführt werden. Ich habe nun den Versuch gemacht zu prüfen, ob Seminose auch als solche in den Pflanzen vorkommt. Da dieselbe mikrochemisch nicht nachzuweisen ist, so hielt ich es für geboten, makrochemisch auf ihr Vorhandensein zu prüfen.

Grössere Mengen junger Keimpflanzen der Dattel wurden mit den anhängenden Samenresten im Mörser zerrieben und mit heissem 85 prozentigem Alkohol extrahirt. Nach dem Verdunsten des Alkohols im Wasserbad wurde der Rückstand mit Wasser aufgenommen und filtrirt. Das Filtrat reducirte energisch in der Hitze FEHLING'sche Lösung und drehte die Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts. Dagegen gab die Zuckerlösung mit Phenylhydrazin behandelt nicht das charakteristische Hydrazon. Es folgt aus diesen Versuchen, dass weder die Keimpflanzen noch das in Lösung begriffene Endosperm nachweisbare Mengen Seminose führen, wohl aber einen vermuthlich als Dextrose anzusprechenden Zucker.

Aus diesem negativen Befunde folgt freilich nicht, dass Seminosebildung bei der Auflösung der Reservecellulose ganz ausgeschlossen ist; denn man könnte sich der SACHS'schen Meinung anschliessen, dass, obgleich an der Grenze zwischen Saugorgan und Endosperm kein Zucker nachweisbar ist, derselbe doch vorhanden sein muss, dass derselbe nur in geringer Menge gebildet und gleich wieder in Cellulose umgewandelt wird. SACHS nimmt trotz des negativen Ergebnisses an, dass die Reservecellulose in Form von Dextrose aus dem Endosperm in den Keimling wandert. Wie gesagt, auch die nämlichen Gründe liessen sich zu Gunsten der Seminose anführen. Sollte sich herausstellen, dass das Lösungsprodukt der Cellulose in der Pflanze thatsächlich Dextrose ist, so würde eine solche Feststellung das wichtige Resultat liefern, dass ein und dasselbe Kohlenhydrat bei der Spaltung in zwei verschiedene Zuckerarten gleicher Zusammensetzung überführbar ist. Diese und ähnliche Punkte näher zu verfolgen, lag natürlich nicht mehr in dem Plane meiner Arbeit. Immerhin mag noch darauf hingewiesen werden, dass vielleicht die ganze Fragestellung eine unrichtige ist. Ist es denn wirklich nothwendig, dass das Molekül der Reservecellulose eine so weitgehende Spaltung erfährt, dass ein Zucker entsteht? Könnten nicht bereits die intermediären Zersetzungsptodukte der Reservecellulose, das Seminin, welches sich ja wenigstens bei Phytelephas macrocarpa auch im ruhenden Samen findet, als einziges Lösungsprodukt auftreten? Jedenfalls ist sein Nachweis mikrochemisch noch schwerer als der der Seminose. Makrochemisch das Seminin in Keimpflanzen nachzuweisen wurde nicht versucht, und somit bleibt diese Frage noch eine offene. Aus dem chemischen Verhalten der Reservecellulose und dem soeben Erörterten ergiebt sich wenigstens, dass man sich gegenwärtig nicht mehr mit der SACHS'schen Annahme, das Lösungsprodukt der Cellulose sei Dextrose, zufrieden geben kann; denn

die SACHS'sche Erklärung des negativen Untersuchungsresultates ist doch nur eine Möglichkeit, während thatsächlich die Verhältnisse ganz anders liegen können. Ist doch die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, dass das aus dem Endosperm in das Saugorgan diosmirende Kohlenhydrat uns überhaupt noch nicht bekannt ist, oder falls es uns bekannt sein sollte, dass es wenigstens in einer uns unbekannten Form diosmirt. Möglicherweise liegen hier sehr komplizirte Stoffmetamorphosen vor, von denen wir uns bisher keine Vorstellung machen können, da der Keimungsprozess daraufhin noch nicht studirt worden ist.

Die gleichen Resultate lieferten entsprechend behandelte Keimpflanzen (wieder mit den anhängenden Samenresten) von Asparagus officinalis und Chamaerops humilis.

Selbstverständlich musste ich mich mit der Ueberzeugung zufrieden geben, dass sich an die Feststellung, dass die Reservecellulose von der gewöhnlichen Cellulose durchaus verschieden ist, eine Reihe von Problemen anknüpft; denn eine Lösung derartiger Fragen bedarf natürlich ausgedehnter Spezialuntersuchungen. Ebensowenig konnte es meine Aufgabe sein, die wichtige Frage, wie die Cellulose in lösliche Kohlenhydrate während der Keimung übergeführt wird, in die Untersuchung hineinzuziehen; denn mein Zweck war erreicht, wenn ich feststellen konnte, dass die Reservecellulose ein von gewöhnlicher Cellulose abweichender Körper ist. Allerdings glaubte ich diesen Zweck nicht vollständig erreicht zu haben, wenn ich nur nachwies, dass aus der Reservecellulose durch hydrolytische Spaltung Seminose hervorgeht. Bestand doch die Möglichkeit, dass die Zellwände derjenigen Pflanzen, deren Samen im Endosperm Reservecellulose führen, gleichfalls aus der nämlichen Cellulose aufgebaut sind. Mir schien deshalb zur definitiven Beantwortung der von mir aufgeworfenen Frage nothwendig zu prüfen, ob nicht aus den Keimpflanzen, die aus Reservecellulose führenden Samen erzogen wurden, gleichfalls die Anwesenheit von Reservecellulose in den Zellwänden dieser Keimpflanzen nachzuweisen sei. Diese Untersuchung habe ich auf Phoenix und Allium beschränkt, von denen ich Samen in grosser Menge keimen liess, so dass ich genügendes Material zur Verfügung hatte.

Von Phoenix wurden nur die Wurzeln der Keimpflanzen, von Allium die ganze Keimpflanze, zugleich aber auch aus diesen und jenen isolirte Cellulose zur Untersuchung verwandt. Nachdem die Wurzeln von Phoenix mit Alkohol und Wasser, die Keimpflanzen von Allium mit Aether, Alkohol und Wasser extrahirt waren, zeigte sich schon darin ein abweichendes Verhalten zu der Reservecellulose der Steinnusssamen, dass die etwas mit Wasser verdünnte durch 70 prozentige Schwefelsäure erhaltenen Lösungen sowohl der behandelten Phoenix-Wurzeln und Allium-Keimpflanzen, als auch der aus ihnen isolirten Cellulose die Ebene des polarisirten Lichtes stark nach *rechts* und nicht nach links drehten, wie die Pflanzenstoffe, welche das Hydrazon gaben, also sich wie gewöhnliche Cellulose verhielten. Um jedoch über jeden Zweifel erhaben zu sein, wurde die Inversion zu Ende geführt. Der erhaltene Syrup enthielt keine Seminose, denn er bildete mit Phenylhydrazin nicht das schwer lösliche Hydrazon. Es war damit also der volle einwurfsfreie Beweis erbracht, dass die Cellulose, aus der die Gewebe der Keimpflanzen aufgebaut sind, andere Beschaffenheit als die Reservecellulose hat.

Zur Kenntniss des Amyloids.

In dem botanischen Theil dieser Abhandlung wurde bereits eine Reihe von Samen behandelt, welche theils im Endosperm, theils in den Cotyledonen die von SCHLEIDEN definirte Amyloidsubstanz in Form von Wandverdickungen führen. Nun ist durch diese Untersuchung die physiologische Bedeutung des Amyloids als die eines Reservestoffes für die Keimpflanze bestätigt und die nähere Kenntniss des Lösungsprozesses gewonnen worden. Wenn nun auch, wie in der Einleitung gezeigt worden ist, die mikrochemische Eigenschaft des Amyloids zu der Annahme berechtigt, dass dasselbe von der Reservecellulose wesentlich verschieden ist, so legt doch gerade die physiologische Erscheinung den Gedanken an eine nahe Verwandtschaft beider Formen der Reservestoffe nahe. Es wäre ja denkbar, dass Reservecellulose und Amyloid Modifikationen desselben Körpers darstellen. Ob ein derartiges Verhältniss nun wirklich stattfindet, kann wiederum nur durch makrochemische Untersuchung entschieden werden. Es war daher festzustellen, ob etwa das Amyloid bei der hydrolytischen Spaltung in gleicher Weise wie die Reservecellulose Seminose liefert. Würde dieser Fall eintreten, so würde zum Mindesten eine nahe Verwandtschaft zwischen Reservecellulose und Amyloid gefolgert werden müssen. Ich habe in Folge dessen die Samen von Impatiens Balsamina und Tropaeolum majus, von denen ich die Auflösung der Amyloidwandverdickungen verfolgt habe, nach meinem Verfahren verzuckert. Statt der schwer zu beschaffenden Samen von Cyclamen europaeum habe ich die Samen der nahe verwandten Primula officinalis in gleicher Weise behandelt[1]).

Endlich unterwarf ich auch noch die Samen von Paeonia officinalis dem nämlichen Prozesse. In allen Fällen lag typisches Amyloid, so weit es mikrochemisch charakterisirt ist, vor. In keinem Falle ergab die hydrolytische Spaltung Seminose. Wahrscheinlich entsteht aus dem Amyloid Dextrose, wenigstens deutet darauf das für Tropaeolum festgestellte Ergebniss hin. Der bei diesen Samen erhaltene Zucker war zwar ebenfalls wie die Seminose rechts drehend, gab aber mit Phenylhydrazin in der Wärme ein Osazon, dessen Schmelzpunkt (203°) mit dem des Dextrosazons (204—205°) übereinstimmte. Es war aber nicht die Aufgabe dieser Arbeit, welche ja nur die Natur der Reservecellulose aufklären sollte, das Amyloid makrochemisch näher zu erforschen. Hier genügt es, sicher nachgewiesen zu haben, dass dasselbe keine nahe chemische Beziehung zur Reservecellulose erkennen lässt und desshalb streng von dieser zu unterscheiden ist[2]).

Die anfänglich von mir gehegte Erwartung, dass etwa die Seminose sich in allen den Fällen abspalten lässt, in welchen der in den Wandverdickungen abgelagerte Reservestoff den Endospermen angehört, eine Erwartung, zu welcher

1) Dagegen habe ich Cyclamen zur Keimung gewählt (vergl. im bot. Theil Seite 29), weil meine Samen von Primula officinalis zum Keimen keine Neigung zeigte.

2) Im historischen Theil dieser Arbeit (S. 8—15) wurden die verschiedenen Richtungen in der Amyloidfrage erörtert. Während SCHLEIDEN als Entdecker des Amyloids der Meinung war, es liege in demselben nur eine durch Wassereinlagerung bedingte Modifikation des Zellstoffs vor, bestritt v. MOHL die Berechtigung zur Unterscheidung des Amyloids, in welcher Auffassung ihm WILH. HOFFMEISTER und auch Verfasser neuerer Lehrbücher folgten.

die Untersuchung der zum Ausgangspunkte dieser Arbeit gewählten Monocotylen berechtigte, erwies sich als nicht zutreffend. Amyloid findet sich in Endospermen und in Cotyledonen, liefert aber in keinem Falle Seminose, welche bisher nur aus Reservecellulose von Endospermen gewonnen werden konnte.

So unterscheidet sich denn das Amyloid nicht nur von der Cellulose, wie das ja bereits von älteren Autoren auf Grund des Verhaltens gegen Jod und der Löslichkeit in Wasser angenommen wurde, wesshalb SCHLEIDEN die Bezeichnung Amyloid einführte, sondern auch von der Reservecellulose. Da diese aber wesentlich von der Cellulose verschieden ist, tritt hier die Frage auf, ob sie überhaupt noch mit Recht als Cellulose zu bezeichnen ist. Cellulose ist ein Kohlenhydrat von der Zusammensetzung $C_6H_{10}O_5$; es ist in Kupferoxyd-Ammoniak löslich, färbt sich mit Jod nur blau, wenn eine Säure oder Chlorzink zugegen ist und bildet bei der hydrolytischen Spaltung Dextrose. Hiermit ist im Wesentlichen die Cellulose charakterisirt. In chemischer Beziehung scheint das Entstehen von Dextrose bei der Spaltung das charakteristische Merkmal zu sein. Es geschieht wohl auf Grund dieses Verhaltens, dass man das THOMSEN'sche Holzgummi, das einen Bestandtheil der Zellwände ausmachen soll, von der Cellulose trennt; denn bei der hydrolytischen Spaltung entsteht aus diesem nicht Dextrose, sondern Holzzucker, auch Xylose genannt. In anderen Beziehungen dagegen zeigt das Holzgummi mit der Cellulose grosse Uebereinstimmung. Beide sind in Kupferoxyd-Ammoniak löslich, beide verhalten sich gleich gegen die Jodreagentien, beide haben mit der gleichen Zusammensetzung auch die Löslichkeit in Natronlauge gemein. Gerade auf Grund dieses letzteren Verhaltens hielt WIELER[1]) das Holzgummi für Cellulose, während es nach den Untersuchungen von KOCH[2]) keinem Zweifel mehr unterliegen kann, dass es ein selbstständiger Körper ist.

Während also aus einer Reihe von Eigenschaften die Zusammengehörigkeit von Holzgummi und Cellulose hervorgehen würde, spricht doch das Resultat der Verzuckerung gegen eine solche Zusammengehörigkeit; man wird deshalb die Abtrennung des Holzgummis von der Cellulose als berechtigt ansehen müssen. Aber genau so steht die Reservecellulose zur Cellulose. Bei der Verzuckerung erhalten wir Seminose. Dahingegen giebt die Reservecellulose mit Jodreagentien die nämlichen Reaktionen wie Cellulose; in Kupferoxyd-Ammoniak ist sie, mit Ausnahme derjenigen in den Samen von Foeniculum und Paris, löslich. Gegen Natronlauge und das SCHULZE'sche Gemisch verhält sie sich wie gewöhnliche Cellulose, wenngleich sie von diesen Agentien leichter angegriffen wird als jene.

Man wäre also mit Rücksicht auf das bei der Hydrolyse erhaltene Resultat vollständig berechtigt, die Reservecellulose unter einem anderen Namen von der Cellulose zu trennen. Wenn ich von der Ausführung dieses Gedankens Abstand nehme, so geschieht es in der festen Ueberzeugung, dass die weitere Untersuchung der natürlich gebildeten Cellulose zeigen wird, dass unter diesem Wort eine Gruppe von Körpern zusammengefasst wird. Alsdann muss der Begriff Cellulose selbstverständlich eine neue Deutung erfahren und bis dahin beschränke ich mich darauf, unseren Körper als „Reservecellulose" zu bezeichnen.

---

1) l. c. S. 363.

2) Vergl. l. c. S. 14 dieser Arb. Anm. 1.

Mit dem physiologischen Begriffe verbinde ich also den eines chemischen Individuums.

Zum Schluss fassen wir in Kürze die Hauptresultate der vorstehenden Arbeit in folgende Sätze zusammen.

1. Bei vielen Pflanzen wird in den Samen, sei es in dem Endosperm oder im Keimling ein Kohlenhydrat in Form von Zellwandverdickungen als Reservestoff abgelagert. Dies Kohlenhydrat besteht entweder aus „Amyloid“ oder aus „Reservecellulose“.

2. Die Reservecellulose ist von der Cellulose verschieden. Sie liefert bei der hydrolytischen Spaltung „Seminin“ und schliesslich „Seminose“ und ist nicht immer in Kupferoxyd-Ammoniak löslich (Foeniculum, Paris). Gegen Jodreagentien, Natronlauge und SCHULZE'sches Gemisch verhält sie sich ähnlich wie Cellulose; wenngleich alle diese Reagentien eine intensivere Einwirkung auf sie als auf die Cellulose ausüben. Sie ist deshalb unter einem besonderen Namen von dieser zu trennen. Ich bezeichne sie auch in *chemischer* Beziehung als „Reservecellulose“.

3. Auf Grund unserer Untersuchungen muss behauptet werden, dass überall dort, wo Zellwandverdickungen im Endosperm vorkommen, diese, falls sie bei der hydrolytischen Spaltung Seminose liefern, aus Reservecellulose bestehen und als Reservestoff funktioniren.

4. Amyloid findet sich in Endospermen *und* in Cotyledonen, liefert aber in *keinem* Falle „Seminose“.

Reservecellulose findet sich *ausschliesslich* in Endospermen.

5. Von den untersuchten Samen konnte durch Darstellung von Seminose „Reservecellulose“ nachgewiesen werden bei: Phytelephas macrocarpa, Phoenix dactylifera, Chamaerops humilis, Lodoicea Seychellarum, Elaïs guinensis (Palmen); Allium Cepa, Asparagus officinalis (Liliaceen); Iris pseudacorus (Irideen); Strychnos nux vomica (Loganiaceen); Coffea arabica (Rubiaceen); Foeniculum officinale (Umbelliferen).

6. Die Samen von Impatiens Balsamina (Balsamineen), Tropaeolum majus (Tropaeolaceen), Primula officinalis, Cyclamen europaeum (Primulaceen) und Paeonia officinalis (Ranunculaceen) enthalten keine Reservecellulose, sondern Amyloid und liefern desshalb bei der Hydrolyse keine Seminose.

7. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Reservecellulose bei der Keimung aufgelöst wird bei: Phoenix dactylifera, Chamaerops humilis, Allium Cepa, Asparagus officinalis, Iris pseudacorus und Foeniculum officinale. Von Phytelephas macrocarpa, Lodoicea Seychellarum, Elaïs guinensis, Paris quadrifolia, Strychnos nux vomica, Coffea arabica konnte dieser Nachweis nicht geführt werden, da die Samen entweder nicht keimten oder überhaupt nicht zum Keimen bei uns zu bringen sind.

8. Gleichzeitig wurde auch die Auflösung der verdickten Zellwände verfolgt bei drei der unter 6. genannten Amyloid führenden Samen (Impatiens, Tropaeolum und Cyclamen).

9. Die Auflösung der in Form von Wandverdickungen abgelagerten Reservestoffe kann auf verschiedene Weise vor sich gehen.

a) Durch allmähliges „Abschmelzen“ von innen nach aussen (Phoenix, Chamaerops).

b) Durch „intralamellare Lösung“, d. h. die *succedane* Resorption findet für benachbarte Zellen zwischen ihren Innenlamellen statt. Die Mittellamelle bleibt (Asparagus).

c) Durch „intralamellare Verflüssigung“, d. h. die secundären Schichten werden *simultan* verflüssigt, einschliesslich der Mittellamelle (Foeniculum).

d) Durch „intralamellare Lösung“ mit gleichzeitiger „Corrosion“ (Allium, Cyclamen).

e) Durch „Corrosion“ unter gleichzeitigem Abschmelzen (Iris).

f) Ausschliesslich durch „Corrosion“ (Tropaeolum, Impatiens).

10. Der Auflösungsmodus der in der Wand gespeicherten Reservestoffe ist unabhängig von der chemischen Natur des Reservestoffes, ebenso wie es für die *Art* der Auflösung gleichgültig ist, ob der Reservestoff dem Endosperm oder den Kotyledonen angehört.

11. Aus der hydrolytischen Spaltung der Reservecellulose geht zunächst ein linksdrehendes, in Alkohol unlösliches Kohlenhydrat, „Seminin“, hervor. Dasselbe ist in nicht zu verdünnter Schwefelsäure klar und vollständig löslich, quillt mit wenig Wasser auf, ist aber selbst in viel Wasser nicht vollständig löslich.

„Seminin“ ist nicht mit anderen linksdrehenden Kohlenhydraten, den Sinistrinen, dem Triticin und Irisin, identisch.

Bei fortgesetzter hydrolytischer Spaltung des Seminins bildet sich eine rechtsdrehende Zuckerart aus der Gruppe der Glycosen, die durch ihre Verbindungen gut charakterisirt ist, die „Seminose“. Charakteristische Verbindungen derselben sind:

a) Das schwer lösliche Hydrazon.

b) Die Fällung durch Bleiessig aus *neutraler* Lösung.

c) Die Isonitrosoverbindung.

12. Das Seminin findet sich auch vorgebildet in den Samen von Phytelephas macrocarpa und wahrscheinlich auch in denen der Dattel.

13. Aus den Samen von Allium lässt sich durch Wasser ein in Alkohol unlösliches Kohlenhydrat isoliren, das die Ebene des polarisirten Lichtes nach links dreht, aber nicht mit Seminin identisch ist. Es liefert bei der hydrolytischen Spaltung einen *linksdrehenden* Zucker, der kein schwer lösliches Hydrazon bildet.

14. Keimpflanzen aus Reservecellulose führenden Samen erzogen, enthalten keine Reservecellulose.

Die vorliegende Untersuchung unternahm ich mit Genehmigung des Herrn Hofrath JUST im Botanischen Institut der technischen Hochschule zu Karlsruhe auf Veranlassung des Herrn Privatdozenten Dr. A. WIELER. Für die dauernde Unterstützung und die wohlwollende Förderung, welche letzterer meiner Arbeit zu Theil werden liess, bin ich ihm zu ganz besonderem Danke verpflichtet.

Vom Oktober 1888 ab wurde die Arbeit mit gütiger Erlaubniss des Herrn Professor FRANK im Pflanzenphysiologischen Institut der landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin fortgesetzt. Den mannichfachen Rathschlägen und der

freundlichen Unterstützung des Herrn Professor FRANK verdankt meine Arbeit wesentliche Förderung.

Die im Laufe der Arbeit nothwendig gewordenen Inversionsversuche habe ich mit Genehmigung des Herrn Privatdozenten Dr. A. HERZFELD in dem seiner Leitung unterstellten, mit der landwirthschaftlichen Hochschule verbundenen Laboratorium des Vereins für deutsche Rübenzucker-Industrie ausgeführt. Der Bereitwilligkeit, mit welcher mir die Hülfsmittel dieses Laboratoriums zur Verfügung gestellt worden sind, und der liebenswürdigen Unterstützung des Assistenten Herrn Dr. A. WOHL verdanke ich es, dass es mir gelang, die auch in chemischer Beziehung nicht uninteressante Seminose darzustellen. Es ist mir eine angenehme Pflicht, allen genannten Herren meinen wärmsten Dank abzustatten, was öffentlich zu thun, ich an dieser Stelle Gelegenheit nehme.

Berlin, den 10. Mai 1889.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1. Phoenix dactylifera, Endospermzellen aus dem ruhenden Samen ($^1/_{300}$).

Fig. 1a bis 1g. Phoenix dactylifera, Endospermzellen aus dem keimenden Samen. Abschmelzen der Verdickungsschichten in verschiedenen Stadien ($^1/_{300}$).

Fig. 1g. Phoenix dactylifera, vollständig ausgesogenes noch nicht zusammengedrücktes Endospermgewebe ($^1/_{150}$).

Fig. 2. Asparagus officinalis, Endospermzellen aus dem ruhenden Samen ($^1/_{300}$).

Fig. 2a bis 2g. Asparagus officinalis, Endospermzellen keimender Samen. Verschiedene Stadien der Lösung (*a*, *b*, *d*, *e*, *g* $^1/_{300}$, *c* $^1/_{295}$, *f* $^1/_{180}$).

Fig. 3. Allium Cepa, Endospermzellen. In einigen Zellen sind die Wandverdickungen intakt, in anderen in Lösung begriffen ($^1/_{180}$).

Fig. 3a. Allium Cepa, ausgesogenes Endosperm ($^1/_{295}$).

Fig. 4. Iris pseudacorus, Endospermzellen aus dem ruhenden Samen ($^1/_{180}$).

Fig. 4a. Iris pseudacorus, Endospermzellen aus dem keimenden Samen. Die Wände sind mit Kongoroth gefärbt; nur soweit dieselben noch nicht verändert sind, ist der Farbstoff gespeichert worden ($^1/_{300}$).

Fig. 4b bis 4d. Iris pseudacorus, in Lösung begriffene Wandverdickungen ($^1/_{300}$).

Fig. 4c. Iris pseudacorus, Querschnitt aus dem Endosperm. In einem Theil der Zellen sind die Wandverdickungen bis auf die Mittellamellen gelöst, in einem anderen Theil sind sie, wie die Färbung mit Kongoroth erkennen lässt, noch erhalten ($^1/_{300}$).

Fig. 5. Foeniculum officinale, Endospermzellen aus einem keimenden Samen ($^1/_{260}$).

Eig. 5a. Foeniculum officinale, ausgesogenes Endosperm ($^1/_{300}$).

Fig. 6 bis 6c. Tropaeolum majus. Wandverdickungen der Cotyledonarzellen in Lösung begriffen ($6\,^1/_{288}$, *a*, *b*, *c* $^1/_{300}$).

Fig. 7 und 7a. Impatiens Balsamina L., Cotyledonarzellen aus dem ruhenden Samen ($^1/_{300}$).

Fig. 7b und 7c. Impatiens Balsamina. In Lösung begriffene Zellwandverdickungen der Cotyledonarzellen ($^1/_{300}$).

Fig. 7d. Impatiens Balsamina. In Lösung begriffene Zellwandverdickungen der Cotyledonarzellen nach HEINRICHER.

Fig. 8. Paeonia officinalis. Endospermzellen aus dem ruhenden Samen in absolutem Alkohol betrachtet ($^1/_{180}$).

Fig. 8a. Paeonia officinalis. Endospermzellen in Wasser betrachtet ($^1/_{180}$).